ELECTRONICA
BUSHER'S
DIVULGACION TECNOLOGICA

fascículo 4

CURSO DE
ELECTRONICA GENERAL



MAGNETISMO Y ELECTROMAGNETISMO   EL TRANSFORMADOR

COMPORTAMIENTO DEL CONDENSADOR CON AC

CONSTRUYA PARA SU TALLER:

UNA FUENTE REGULADA DE 0 - 30V

INDICE GENERAL

CAPITULO 10. MAGNETISMO Y ELECTROMAGNETISMO 137

Los imanes 138
Imanes sintéticos 139
Electromagnetismo 140
La bobina 140
La bobina con núcleo de hierro 142
Fuerza Magnetomotriz (fmm) 144
Saturación 144
Tipos de núcleo para las bobinas 144
Fenómeno de Histéresis.. 145
Inducción magnética 146
La autoinducción.. 146
Inductancia mutua 148
Polaridad de la tensión inducida 149
Aspecto físico de algunas bobinas 151
Apéndice A 152

CAPITULO 11. EL TRANSFORMADOR 153

Principio de funcionamiento 153
El transformador sin carga (sin RL) 154
Formas del núcleo 154
Relación de transformación 156
Potencia del transformador 157
Corriente en el transformador 158
Aspecto físico de algunos transformadores 161

CAPITULO 12. COMPORTAMIENTO DEL CONDENSADOR CON DC 163

Curva de carga y descarga 165
Carga adquirida desde el tiempo t = 1 tao, hasta t = 5 taos 166
Descarga del condensador 169
Nivel de descarga desde el tiempo t = 1 tao, hasta t = 5 taos 170
Prueba del condensador 173
Apéndice B 174

CAPITULO 13. CONSTRUYA LA FUENTE PARA SU TALLER 175

Descripción del circuito 177
El regulador 177
Ajuste del nivel de salida 178
Disipación de potencia del regulador 178

10 MAGNETISMO Y ELECTROMAGNETISMO

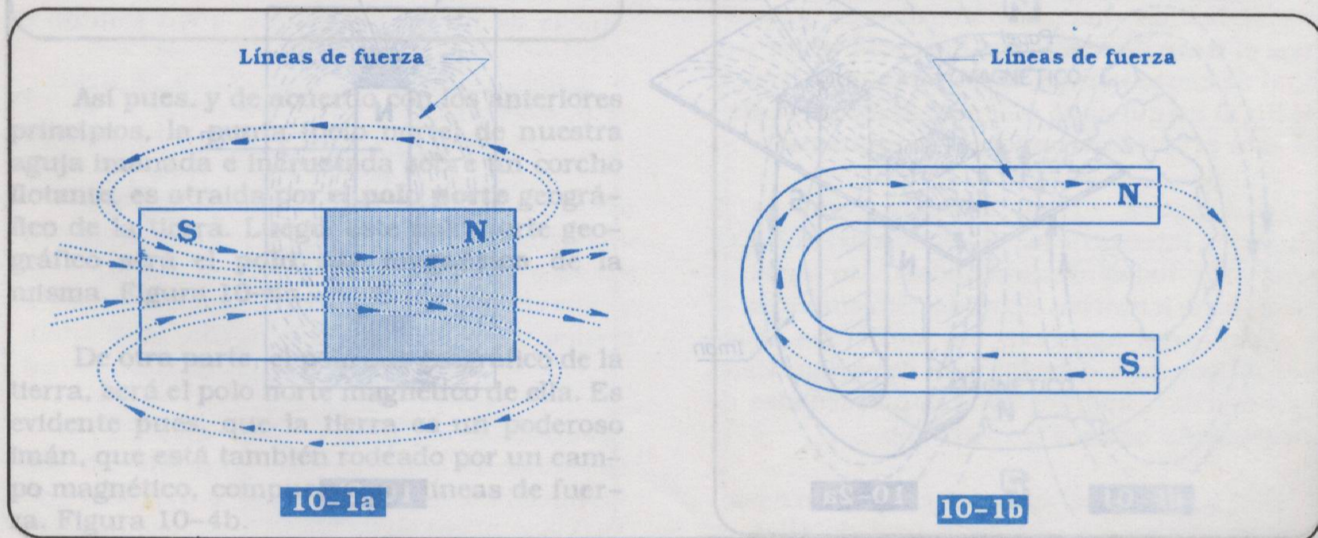
Todo el universo, incluyendo de hecho nuestro planeta tierra, se caracteriza por potentes fuerzas de atracción y repulsión. Tan evidentes son estas fuerzas, que no escapamos a ellas los humanos, que ante nuestros semejantes, podemos aparecer simpáticos (atractivos) o antipáticos (repulsivos).

Es pues necesario dentro de la formación del futuro técnico bien estructurado, del empírico que desea nivelar sus conocimientos y aún del aficionado que otea el horizonte, conocer y dominar todos los fenómenos magnéticos y electromagnéticos.

Gracias a estos fenómenos, debidamente analizados y estudiados a su debido tiempo y lugar, es como se pudieron desarrollar el sonido, la radio, la televisión, las videograbadoras y los microcomputadores.

Dentro de este último campo, quizás poco explorado por la mayoría, se hallan los diskettes o unidades de disco flexible de 3½ y 5¼ pulgadas, los discos duros, etc, que pueden por medios electromagnéticos, almacenar o memorizar en su interior, el contenido de cientos de libros tamaño carta como el que leemos.

Finalmente, el magnetismo y el electromagnetismo, son básicos para comprender el funcionamiento de algunos motores para DC, tales como los que emplean algunas grabado



10-1a
10-1b

ras de audio, algunos tocadiscos, las videograbadoras, el disco compacto, el motor paso a paso de algunas impresoras para computador, el fax, algunos robots y muchas otras aplicaciones que no alcanzamos a mencionar en el momento.

LOS IMANES

Un imán, es un cuerpo que posee propiedades de atracción sobre otros cuerpos, tal como el hierro y el acero. Existe en **forma natural** y es llamado magnetita o en **forma artificial**, como elemento **sintético** fabricado por el hombre.

La primer evidencia conocida por el hombre de un imán ocurrió en Magnesia, un pueblo de Asia. Allí, un pastorcillo descubrió que al apoyar su cayado sobre una roca, ésta lo atraía. Esta roca era la **magnetita**.

Para esa época, los chinos ya conocían este fenómeno y como estudiosos que eran, habían perfeccionado la brújula. Con la ayuda de ésta podían navegar y orientar su rumbo.

Todo imán, incluido el de la tierra, posee dos masas polares llamadas **Norte** y **Sur.** Las figuras 10-1a y 10-1b, muestran dos diferentes tipos de imanes, uno con forma rectangular y el otro con forma de herradura.

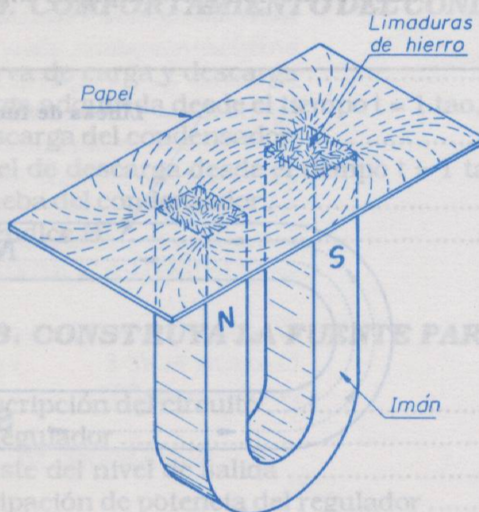
La fuerza de atracción de todo imán, se concentra en ambos polos. Realmente, esta fuerza se manifiesta por la presencia de un campo magnético, compuesto por líneas de fuerza que lo circundan. Estas líneas de fuerza **no son visibles,** pero se evidencia su presencia por medio de un fenómeno llamado **Espectro magnético.**

Para ello, basta con colocar sobre el imán un papel o cartón delgado y sobre éste depositamos limaduras de hierro. Al hacerlo, observamos que éstas se ordenan y toman la apariencia de las figuras 10-2a y 10-2b.

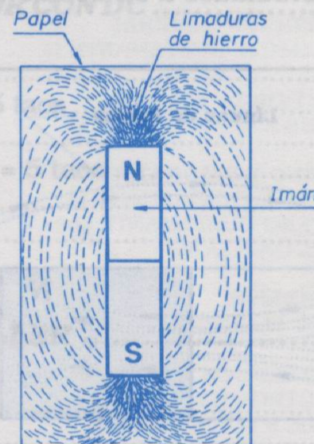
Allí, se ve como la mayor concentración de líneas de fuerza ocurre en los dos polos. Sin embargo, es evidente que ellas circulan desde el polo sur del imán y atravesando éste, llegan al polo norte. Desde el polo norte, las líneas salen y atraviesan el aire y llegan de nuevo al polo sur. Han completado un **circuito magnético.**

Si tomamos una aguja imanada previamente de tal forma que en su punta quede el polo norte y la incrustamos en un corcho que luego se pondrá a flotar en un recipiente con agua, ver figura 10-4a. Observaremos que la punta de la aguja queda orientada hacia el polo norte **geográfico**. De esta manera hemos obtenido una **brújula.**

Todos los imanes se rigen por los mis-

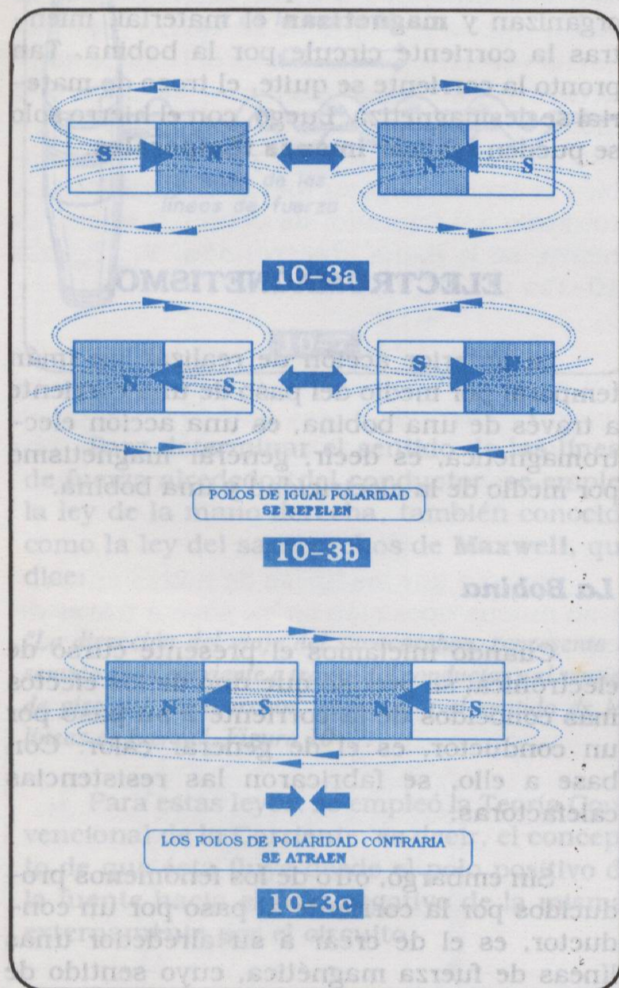


10-2a



10-2b

mos principios de las cargas electroestáticas en forma muy análoga. Aquí, los polos de dos imanes de diferente polaridad, se atraen y dos polos de la misma polaridad se repelen. Esto se puede observar en las figuras 10-3a, 10-3b y 10-3c.



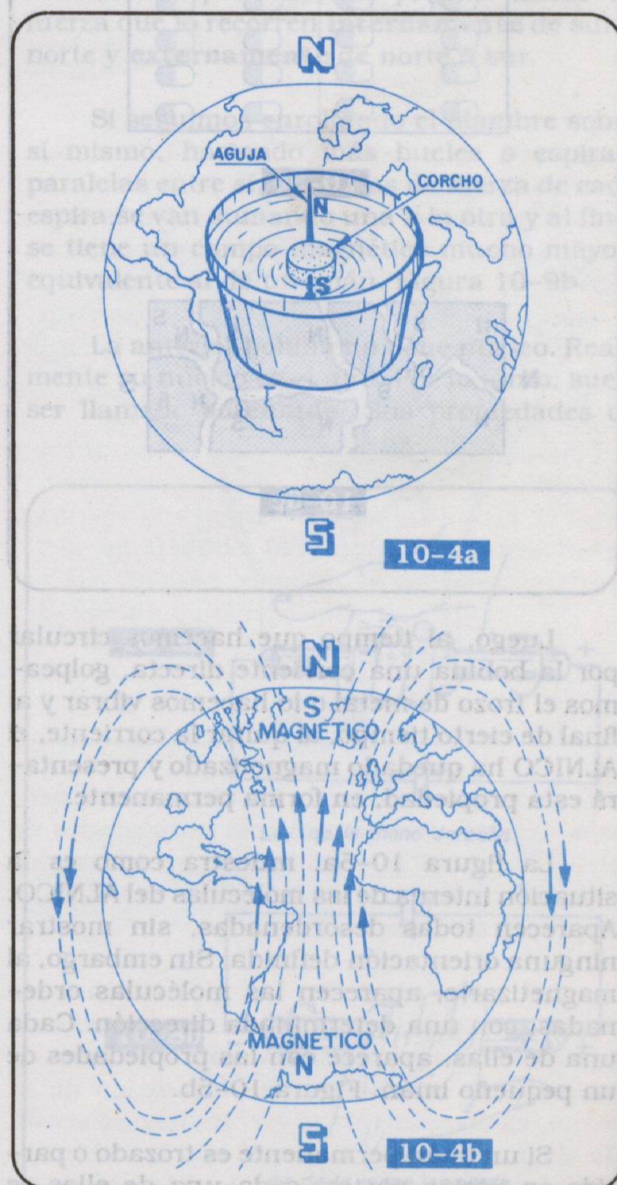
Así pues, y de acuerdo con los anteriores principios, la punta (polo norte) de nuestra aguja imanada e incrustada sobre un corcho flotante, es atraida por el **polo norte** geográfico de la tierra. Luego, este polo norte geográfico será el **polo sur magnético** de la misma. Figura 10-4a.

De otra parte, el polo sur geográfico de la tierra, será el polo norte magnético de ella. Es evidente pues, que la tierra es un poderoso imán, que está también rodeado por un campo magnético, compuesto por líneas de fuerza. Figura 10-4b.

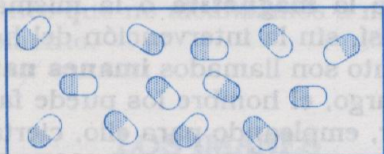
Imanes sintéticos

Una aguja de acero como la anterior, se **imana** frotándola contra otro imán. Los imanes como la **magnetita** o la misma tierra, existen así, sin la intervención del hombre y por lo tanto son llamados **imanes naturales.** Sin embargo, el hombre los puede fabricar o sintetizar, empleando para ello, ciertas aleaciones de metales tal como el ALNICO.

El ALNICO, es un compuesto de Aluminio (Al), Níquel (Ni) y Cobalto (Co). Para hacer un imán, basta tomar un trozo de esta aleación y enrollar sobre él varias vueltas de alambre conductor.

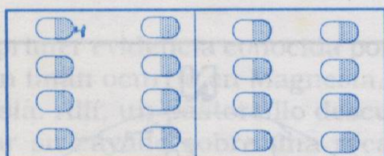


ALNICO sin magnetizar



10-5a

ALNICO magnetizado



10-5b



10-5c

Luego, al tiempo que hacemos circular por la bobina una corriente directa, golpeamos el trozo de metal o lo hacemos vibrar y al final de cierto tiempo, al quitar la corriente, el ALNICO ha quedado magnetizado y presentará esta propiedad, en forma permanente.

La figura 10-5a, muestra como es la situación interna de las moléculas del ALNICO. Aparecen todas desordenadas, sin mostrar ninguna orientación definida. Sin embargo, al magnetizarlo, aparecen las moléculas ordenadas, con una determinada dirección. Cada una de ellas, aparece con las propiedades de un pequeño imán. Figura 10-5b.

Si un imán permanente es trozado o partido en varias partes, cada una de ellas se comporta entonces como otro imán con las mismas propiedades del original, mucho más pequeño y con menos fuerza de atracción. Figura 10-5c.

Si este proceso de magnetización se realiza con un trozo de hierro dulce en lugar del ALNICO, se observaría que las moléculas se organizan y **magnetizan** el material, mientras la corriente circule por la bobina. Tan pronto la corriente se quite, el trozo de material se desmagnetiza. Luego, con el hierro solo se pueden realizar **imanes temporales**.

ELECTROMAGNETISMO

La anterior acción de realizar un imán temporal por medio del paso de una corriente a través de una bobina, es una acción electromagnética, es decir, generar magnetismo por medio de la electricidad y una bobina.

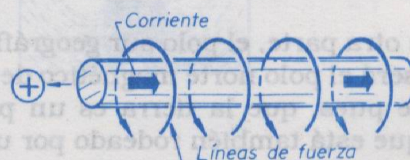
La Bobina

Cuando iniciamos el presente curso de electrónica, se precisó que uno de los efectos más conocidos de la corriente a su paso por un conductor, es el de generar calor. Con base a ello, se fabricaron las resistencias calefactoras.

Sin embargo, otro de los fenómenos producidos por la corriente al paso por un conductor, es el de crear a su alrededor unas líneas de fuerza magnética, cuyo sentido de

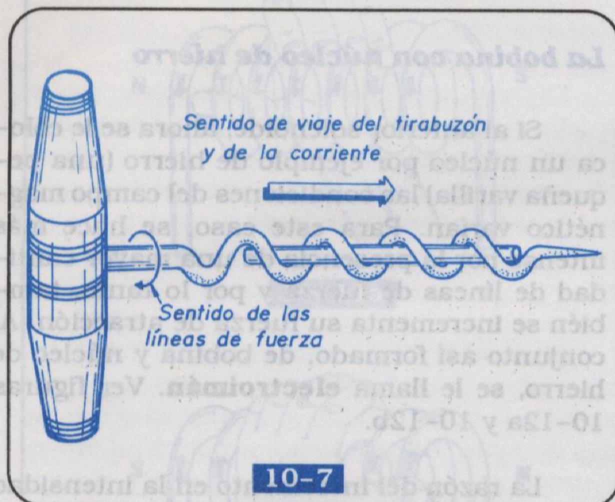


10-6a



10-6b

rotación, depende del sentido de la corriente a través del conductor. Figuras 10-6a y 10-6b.



10-7

Para determinar el sentido de las líneas de fuerza alrededor del conductor, se emplea la ley de la mano derecha, también conocida como la ley del sacacorchos de **Maxwell,** que dice:

"La dirección del viaje del sacacorchos, representa el sentido de la corriente a través del conductor y el sentido de giro del sacacorchos, representa el sentido de las líneas de fuerza". Figura 10-7.

Para estas leyes, se empleó la Teoría Convencional de la Corriente, es decir, el concepto de que ésta fluye desde el polo positivo de la fuente hacia el polo negativo de la misma, externamente por el circuito.

Sin embargo, con base a la Teoría Electrónica de la Corriente, se puede emplear la ley de la mano izquierda y produce los mismos resultados. Figura 10-8a y 10-8b.

Para ambos casos, el movimiento envolvente de los dedos de la mano excluyendo el pulgar, indican el sentido de giro de las líneas de fuerza alrededor del conductor y dicho dedo pulgar, el sentido de la corriente a través de éste.

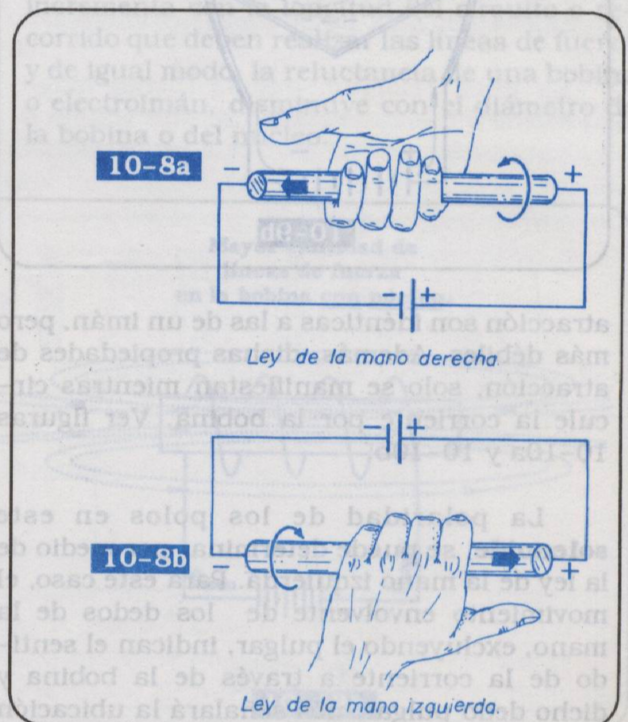
También, existe el principio del **observador de** *Ampere*. Observando el conductor de frente, en corte o por su sección transversal, cuando la corriente viene hacia nosotros, vemos el punto de una flecha y cuando se aleja, vemos una cruz o la parte trasera de ésta. Ver figuras 10-6a y 10-6b.

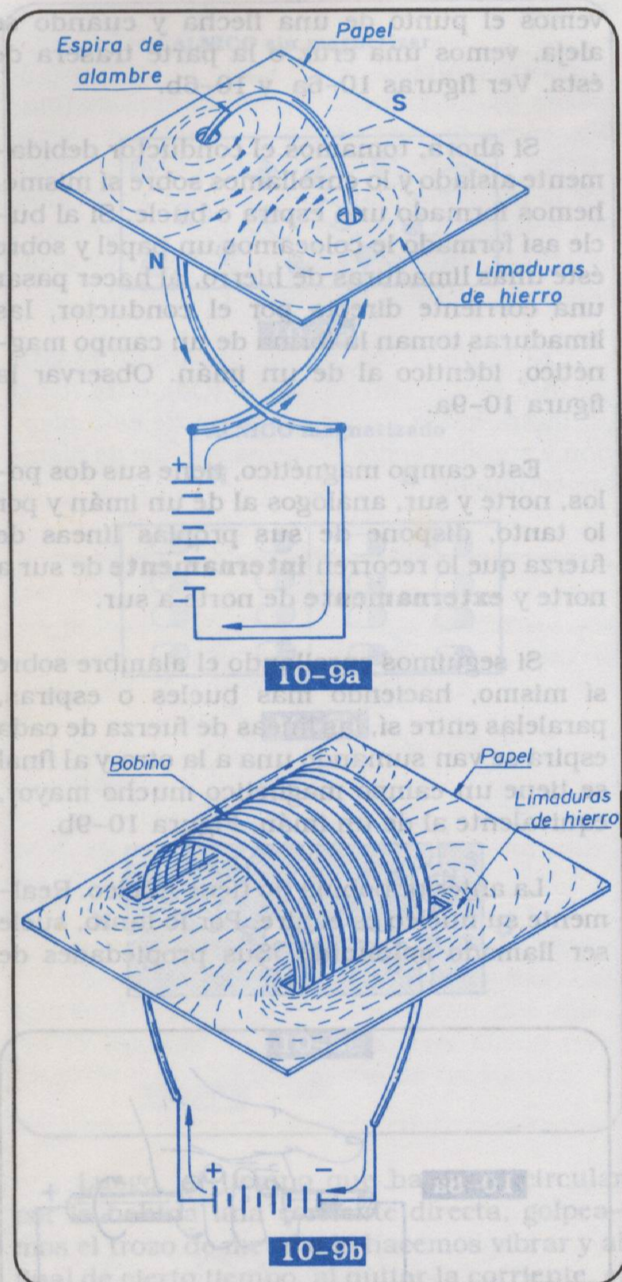
Si ahora, tomamos el conductor debidamente aislado y lo enrollamos sobre sí mismo, hemos formado una espira o bucle. Si al bucle así formado le colocamos un papel y sobre éste unas limaduras de hierro, al hacer pasar una corriente directa por el conductor, las limaduras toman la forma de un campo magnético, idéntico al de un imán. Observar la figura 10-9a.

Este campo magnético, tiene sus dos polos, norte y sur, análogos al de un imán y por lo tanto, dispone de sus propias líneas de fuerza que lo recorren **internamente** de sur a norte y **externamente** de norte a sur.

Si seguimos enrollando el alambre sobre sí mismo, haciendo más bucles o espiras, paralelas entre sí, las líneas de fuerza de cada espira se van sumando una a la otra y al final se tiene un campo magnético mucho mayor, equivalente al de un imán. Figura 10-9b.

La anterior bobina no tiene núcleo. Realmente su núcleo es el aire. Por lo tanto, suele ser llamado **solenoide**. Sus propiedades de





atracción son idénticas a las de un imán, pero más débiles. Además, dichas propiedades de atracción, solo se manifiestan mientras circule la corriente por la bobina. Ver figuras 10-10a y 10-10b.

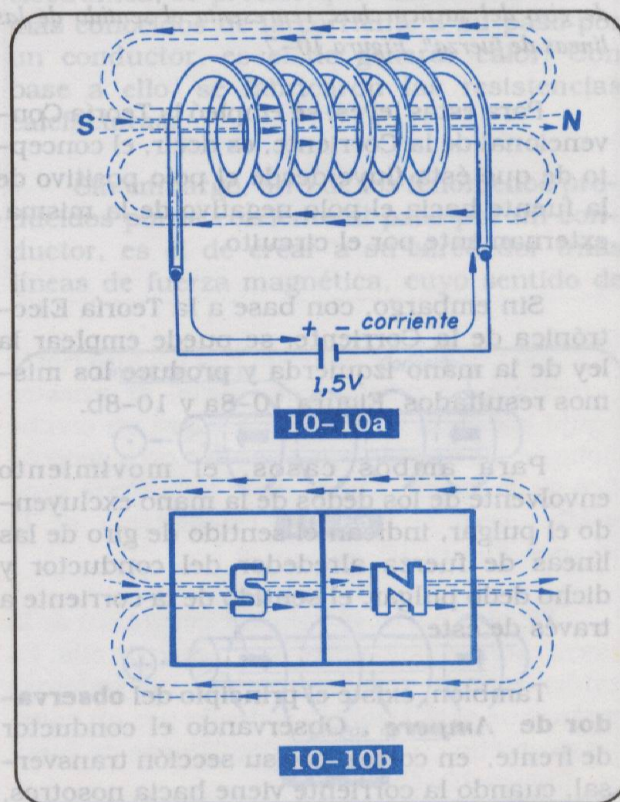
La polaridad de los polos en este **solenoide**, se puede determinar por medio de la ley de la mano izquierda. Para este caso, el movimiento envolvente de los dedos de la mano, excluyendo el pulgar, indican el sentido de la corriente a través de la bobina y dicho dedo pulgar, nos señalará la ubicación del polo norte. Esta ley, está basada en la Teoría Electrónica de la Corriente. Ver figuras 10-11a y 10-11b.

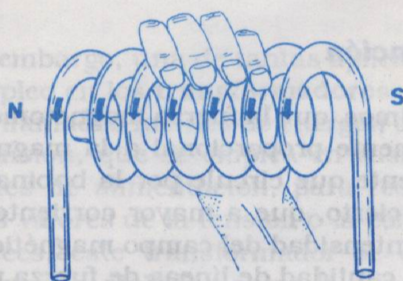
La bobina con núcleo de hierro

Si al anterior solenoide, ahora se le coloca un núcleo por ejemplo de hierro (una pequeña varilla) las condiciones del campo magnético varían. Para este caso, se hace más intenso por la presencia de una mayor cantidad de líneas de fuerza y por lo tanto, también se incrementa su fuerza de atracción. Al conjunto así formado, de bobina y núcleo de hierro, se le llama **electroimán**. Ver figuras 10-12a y 10-12b.

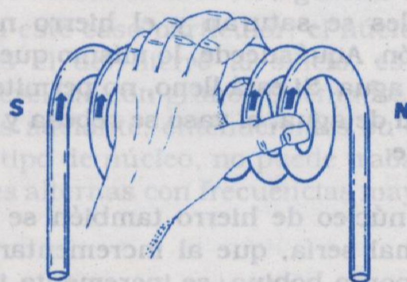
La razón del incremento en la intensidad del campo magnético por la presencia de un mayor número de líneas de fuerza, se puede explicar por ciertas leyes en las bobinas muy parecidas a la de la Ley de Ohm en los circuitos.

Resulta que las líneas de fuerza encuentran mucha oposición en su paso a través del aire. Prefieren hacerlo a través de ciertos me-





10-11a



10-11b

tales como el hierro o el acero, pues, en éstos hallan menor oposición para circular. El fenómeno de que las líneas de fuerza encuentren mayor o menor oposición al circular por ciertos materiales, es llamado **reluctancia** (fenómeno muy análogo a la resistencia en un circuito eléctrico).

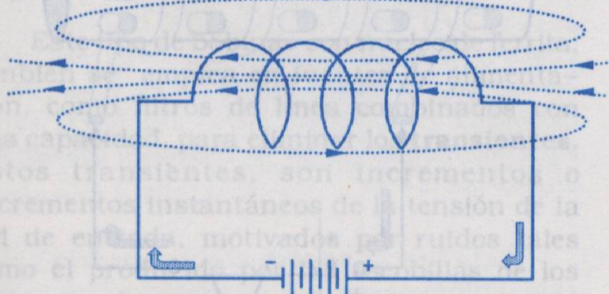
Comparando el aire con el hierro como núcleos, vemos que este último facilitó la circulación de las líneas de fuerza a través de él y por lo tanto, permitió de igual modo incrementar el número de las líneas de fuerza (algo parecido a la corriente en un circuito, donde con menor resistencia, circula mayor corriente).

La propiedad que presentan ciertos materiales, como en este caso el hierro, de facilitar el paso de las líneas de fuerza a través de ellos, es llamada **permeabilidad, (μ)**.

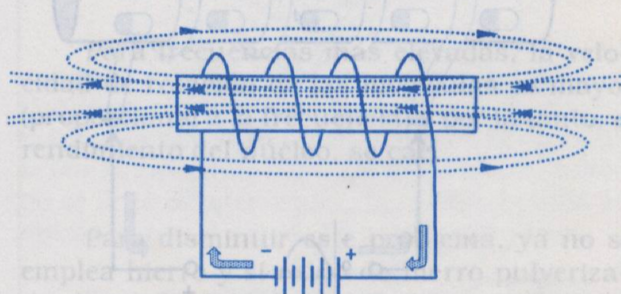
Para concluir, diremos que si la permeabilidad (facilidad) del hierro es 3000 veces mayor que la del aire, de igual modo, diremos que la reluctancia del aire es 3000 veces mayor que la del hierro.

Para fines prácticos, se admite que la permeabilidad (μ) del hierro es 3000 veces mayor que la del aire. Así pues, suponiendo que la bobina con núcleo de aire permite la circulación de 20 líneas, esta misma bobina con núcleo de hierro, permitirá por lo tanto un paso de 20 x 3000 = 60000 líneas de fuerza.

Es importante tener en cuenta, que la reluctancia de un circuito magnético se incrementa con la longitud del circuito o recorrido que deben realizar las líneas de fuerza y de igual modo, la reluctancia de una bobina o electroimán, disminuye con el diámetro de la bobina o del núcleo.



10-12a



10-12b

Fuerza magnetomotriz (fmm)

La fuerza magnetizadora en una bobina o en un electroimán, es llamada **fuerza portante**. Esta fuerza portante, es equivalente a la tensión en un circuito. Recuerde que sin tensión no hay corriente. Aquí, en el circuito magnético, la fuerza magnetomotriz o fuerza portante, tiene la misión de producir mayor o menor cantidad de líneas de fuerza por cm² de área de núcleo (sección transversal). Por favor consulte para mayor ampliación el apéndice A.

Esta fuerza portante o magnetomotriz, se expresa en función del producto de las espiras o vueltas que tenga la bobina y la corriente que circule por ella, en forma directamente proporcional. Este producto se denomina **amperio-vueltas.** Por favor ver el apéndice A.

También se emplea como unidad de medida de la fuerza magnetomotriz de una bobina o electroimán, el Gilbert. Un Gilbert, es el equivalente a 0,7985 amperio-vueltas.

Así por ejemplo, si una bobina tiene 10 espiras o vueltas y por ella circula una corriente de 1A, su fuerza magnetomotriz será de 10 amperio-vueltas. Si en esta misma bobina, la corriente es de 2A, la fuerza magnetomotriz será de 20 amperio-vueltas.

Es pues evidente, que la fuerza magnetomotriz o fuerza portante de una bobina o un electroimán, es directamente proporcional a la magnitud de la corriente que por ella circule.

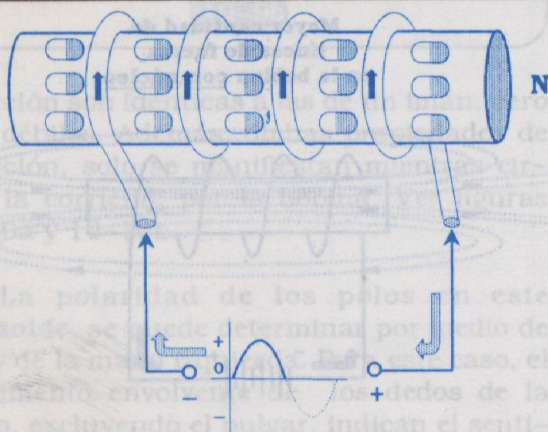
Saturación

Dijimos, que la fuerza magnetomotriz, es directamente proporcional a la magnitud de la corriente que circule por la bobina. También es cierto, que a mayor corriente mayor será la intensidad del campo magnético y por ende, la cantidad de líneas de fuerza presentes.

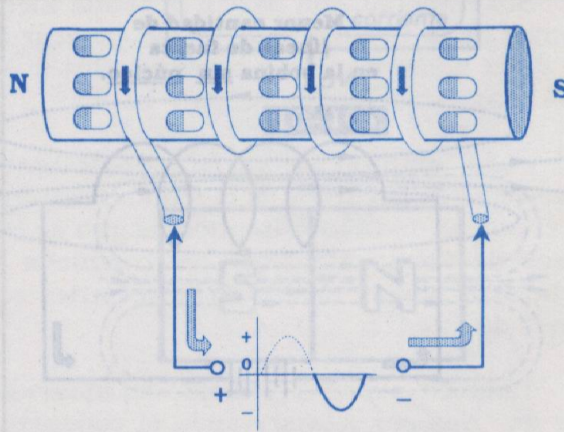
Sin embargo, no todo es dicha. Todos los materiales se saturan y el hierro no es la excepción. Aquí sucede, lo mismo que con un vaso de agua. Si está lleno, no permite mayor cantidad de agua, el vaso se rebosa y el agua se pierde.

El núcleo de hierro también se satura. Lo normal sería, que al incrementar la corriente por la bobina, se incrementa también el número de líneas de fuerza que circulan por cm² de área o sección transversal de núcleo. Sin embargo, llegará el momento en que por más que se incremente la corriente, el incremento de líneas de fuerza por el material no es muy **perceptible.** Se dice entonces que el núcleo está saturado.

Las bobinas, ya sea con o sin núcleo, tienen un ilimitado uso o aplicación en los



10-13a



10-13b

circuitos electrónicos. Cada una de ellas, depende de la imaginación e inventiva del hombre.

Sin embargo, una de tantas aplicaciones es su empleo en los **transformadores de poder** (mal llamados fuentes de energía) o fuentes de tensión, que se emplea en casi todas las fuentes de alimentación, para reducir o elevar los valores de la tensión o la corriente. Otras veces, este transformador se emplea como elemento **aislador** entre la red AC de entrada y los circuitos que ésta alimenta para evitar que queden electrizados.

Para este caso particular, el núcleo empleado es el del hierro al silicio, es decir, hierro mezclado con granos orientados de silicio. Más adelante, entenderemos su objetivo. Este tipo de núcleo, no puede trabajar en corrientes alternas con frecuencias mayores a 400Hz.

Además del núcleo de hierro al silicio, se emplea el **núcleo de ferrita**, que es una combinación o mezcla del óxido de hierro, material altamente magnético, con un compuesto aglutinante, no magnético.

Estos dos materiales, el óxido de hierro y el aglutinante, luego de preformados (para darle cualquier forma), se someten a la influencia de altas temperaturas con el fin de darle cierto grado de dureza o consistencia.

El uso de bobinas con núcleo de ferrita, está limitado al de los circuitos de radiofrecuencia y de audiofrecuencia, donde las frecuencias de operación, sean superiores a 400Hz, con el fin de incrementar el rendimiento.

Este tipo de bobinas con núcleo de ferrita, también se emplea en fuentes de alimentación, como filtros de línea combinados con una capacidad para eliminar los **transientes.** Estos transientes, son incrementos o decrementos instantáneos de la tensión de la red de entrada, motivados por ruidos tales como el producido por las escobillas de los motores, y la apertura de circuitos con bobinas. También se le emplea, en algunas fuentes especiales, tipo conmutadas, como chopper o regulador.

Fenómeno de Histéresis

Cuando se emplea un núcleo en una bobina, ésta se convierte en un **imán temporal,** mientras la corriente circule por la bobina.

Si la corriente aplicada es continua o directa, las moléculas del núcleo, adquieren una orientación permanente para formar los polos norte y sur.

Si la corriente aplicada es alterna (CA) entonces, durante un semiperíodo de ésta, las moléculas tienen determinada orientación, por ejemplo sur-norte, dentro del núcleo.

Al cambiar de polaridad la corriente aplicada a la bobina, la orientación de las moléculas se invierte 180°, ahora es su posición dentro del núcleo, de norte a sur. Figuras 10-13a y 10-13b.

Esta rotación en las moléculas, primero en un sentido y luego en el otro, con cada cambio de polaridad de la corriente alterna, crea fricción entre las mismas. Esta fricción, hace que se **retrasen** las propiedades de magnetización y sobre todo, ocasiona el calentamiento del núcleo. Este fenómeno es llamado **HISTERESIS** y se traduce en pérdidas por bajo rendimiento en el transformador.

Para evitar las pérdidas por calentamiento del núcleo, al hierro se le agregan unos granos de silicio. Así, una molécula de hierro queda separada de la otra y no se calienta por fricción al aplicarle CA. Esto es válido para frecuencias de 60 a 400Hz.

Para frecuencias más elevadas, la velocidad de rotación de las moléculas es mayor (proporcional a la frecuencia) y por lo tanto, el rendimiento del núcleo, se cae.

Para disminuir este problema, ya no se emplea hierro y sí óxido de hierro pulverizado. A este óxido de hierro, se le mezcla con un aglutinante y luego se moldea a ciertas temperaturas. El núcleo así obtenido es llamado **Ferrita**.

Conclusiones

El núcleo para las bobinas, puede ser de hierro dulce, si ésta trabaja con CD o continua. Cuando trabaja con CA, debe ser de hierro al silicio, para bajas frecuencias. Para altas frecuencias, se emplea la ferrita, para reducir las pérdidas por HISTERESIS.

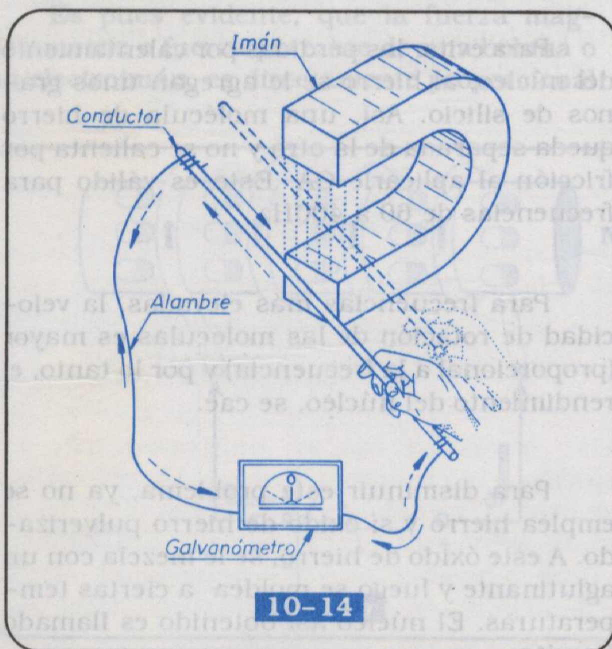
Inducción Magnética

Si hacemos un montaje como el mostrado en la figura 10-14, se puede demostrar el fenómeno de **inducir** una tensión o fuerza electromotriz (f.e.m) en un conductor.

Para conseguir el anterior propósito, basta con **mover** el imán de modo que las líneas de fuerza de éste, **corten** el conductor o en forma contraria, mover el conductor dejando el imán quieto. Ahora, el conductor **corta** el campo magnético del imán.

Para obtener una inducción de 1V, es necesario que dicho conductor **corte** en un segundo 100.000.000 de líneas de fuerza. Si el campo no es lo suficientemente intenso, sería necesario colocar una bobina y hacer que las tensiones inducidas en cada espira se sume con las otras, incrementando el nivel de la tensión inducida.

El sentido de la **corriente inducida**, depende del sentido en que se **mueva** el conductor o en su defecto el campo magnético.



10-14

Así por ejemplo, si se emplease un galvanómetro o un microamperímetro con cero central, veríamos como la aguja de éste se mueve en un sentido, cuando el conductor **penetra** hacia el campo magnético y en sentido contrario, cuando dicho conductor **se aleja** del campo.

La autoinducción

Cuando se alimenta una bobina con corriente directa, proveniente de una fuente regulada o en su defecto de una batería, ya sabemos que esta bobina reemplaza a un imán, creando su propio campo magnético.

Sin embargo, para comprender otros fenómenos posteriores, tales como la **inductancia** y la **resonancia**, fenómenos estos que permitieron desarrollar la radio y la televisión, es necesario entonces profundizar un poco más en su estudio. Para ello recurrimos al montaje de la figura 10-15.

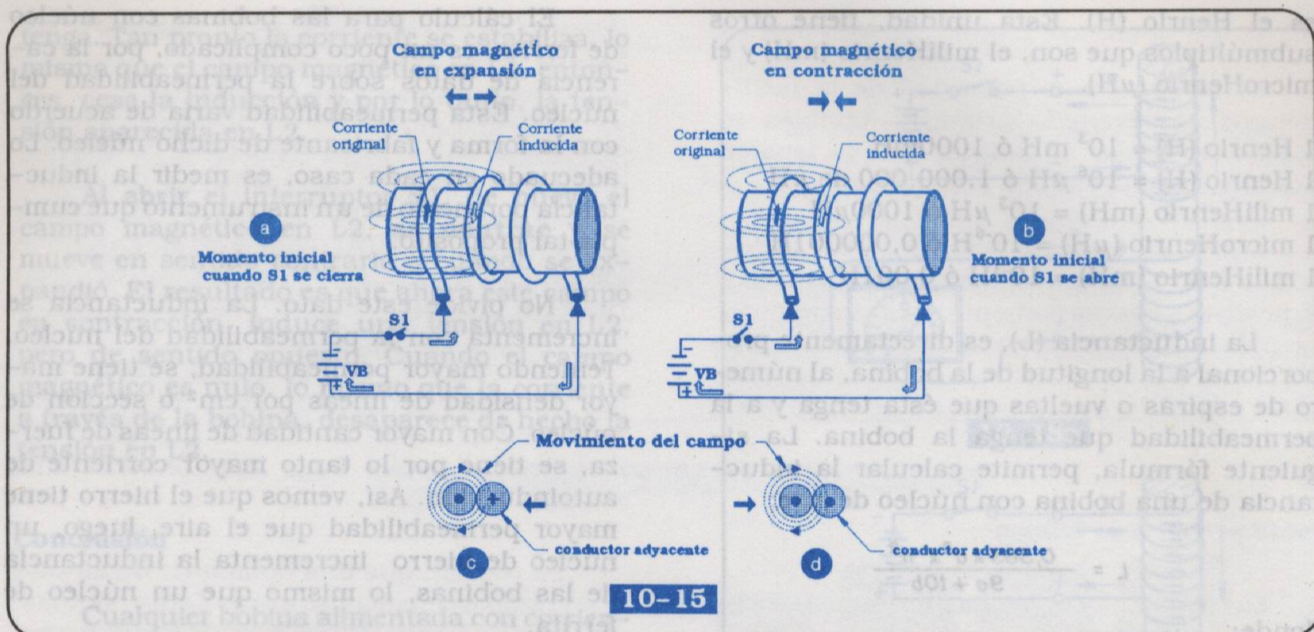
Cuando se cierra el interruptor

Al cerrar el interruptor S1, comienza a circular una corriente a través de la bobina. Sin embargo, ésta no puede fluir en forma abrupta o instantánea. Veamos.

Cuando la corriente comienza a incrementarse, alrededor del conductor, se crea un campo de líneas de fuerza, que también está en expansión o crecimiento. Figura 10-15a

Cuando dicho campo está en expansión, necesariamente abarca o corta las espiras siguientes de la bobina. Allí, se cumple la ley de Lenz que dice: "Cuando un conductor es cortado por un campo magnético en expansión, se autoinduce en dicho conductor una fuerza contra electromotriz (f.c.e.m) que es de sentido opuesto a la original que la creó".

Esta fuerza **contra electromotriz** inducida, entonces crea su propia corriente a través de la bobina, **que se opone** a la original **impulsada** por la fuente. Esta corriente autoinducida, es la que **demora** o se opone al



10-15

crecimiento instantáneo de la corriente original. Figura 10-15c

De hecho, entre mayor sea el número de espiras que tenga la bobina, mayor será la oposición a la corriente original y de lógica, mayor **su retardo** en crecer.

Sin embargo, después de cierto tiempo, la corriente a través de la bobina **crece** alcanzando su valor máximo y se estabiliza. Ahora el campo magnético también deja de crecer o expandirse y entonces no existirá movimiento relativo entre éste y los conductores que forman la bobina. Así pues, aquí cesa o termina el fenómeno de la autoinducción.

Al cesar o terminar el fenómeno de autoinducción, **la única** resistencia que encuentra la corriente dentro de la bobina, es la resistencia **física** u **óhmica** de ésta. Esta resistencia depende de la longitud del alambre con que esté hecha la bobina, del diámetro o calibre de dicho alambre y de la calidad de éste. Realmente, esta resistencia es muy pequeña y es llamada **resistencia a la corriente directa** o **DC.**

Qué sucede al abrir el interruptor?

Al abrir el interruptor para cortar el paso de corriente por la bobina, lo normal es que ésta caiga a cero (0). Sin embargo, veremos que su efecto de disminución, es retardado por la autoinducción.

*Existe otra ley de **Lenz** que dice: "Cuando la corriente a través de una bobina **se corta,** el campo magnético se contrae. Al contraerse el campo, éste corta las espiras adyacentes en sentido opuesto a como lo hizo cuando se expandió y la fuerza contra electromotriz inducida, es de tal sentido que ahora se suma a la original". Figuras 10-15b y 10-15d*

Esta fuerza contra electromotriz, al sumarse a la original, crea una **sobre tensión** y de hecho, su propia corriente. Esta corriente al sumarse a la original producida por la fuente o batería, incrementa o tiende a mantener la corriente circulando por la bobina. Sin embargo, después de cierto tiempo, cuando el campo magnético es nulo, la corriente a través de dicha bobina, también será nula.

Luego, es necesario tener presente que cuando un interruptor se cierra y la corriente tiende a circular por la bobina, la misma bobina **se opone** al crecimiento de la corriente por la autoinducción. De igual modo, cuando se abre el interruptor, la misma bobina **se opone** a que la corriente caiga o decrezca.

Esta oposición que presenta la bobina al incremento o decremento de la corriente, es llamada **inductancia**. Esta inductancia se representa con la letra **L**. Su unidad de medida

es el Henrio (H). Esta unidad, tiene otros submúltiplos que son, el miliHenrio (mH) y el microHenrio (μH).

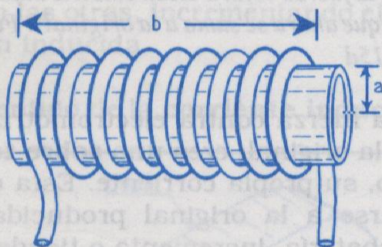
1 Henrio (H) = 10^3 mH ó 1000mH
1 Henrio (H) = 10^6 μH ó 1.000.000 de μH
1 miliHenrio (mH) = 10^3 μH ó 1000μH
1 microHenrio (μH) = 10^{-6}H ó 0,000001H
1 miliHenrio (mH) = 10^{-3}H ó 0,001H

La inductancia (L), es directamente proporcional a la longitud de la bobina, al número de espiras o vueltas que ésta tenga y a la permeabilidad que tenga la bobina. La siguiente fórmula, permite calcular la inductancia de una bobina con núcleo de aire:

$$L = \frac{0{,}363 \times a^2 \times n^2}{9a + 10b}$$

donde:

L = Inductancia de la bobina en Henrios
a = Radio de la bobina en cm
n = Número de espiras o vueltas
b = Longitud de la bobina



El cálculo para las bobinas con núcleo de ferrita, es un poco complicado, por la carencia de datos sobre la permeabilidad del núcleo. Esta permeabilidad varía de acuerdo con la forma y fabricante de dicho núcleo. Lo adecuado en cada caso, es medir la inductancia por medio de un instrumento que cumpla tal propósito.

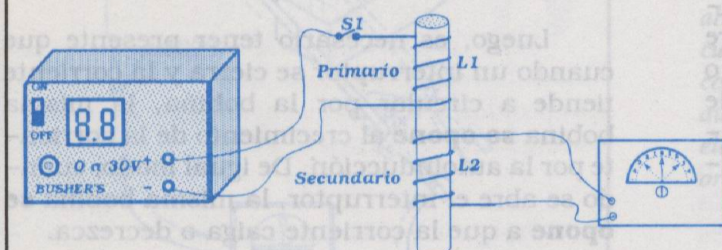
No olvide este dato. La inductancia se incrementa con la permeabilidad del núcleo. Teniendo mayor permeabilidad, se tiene mayor densidad de líneas por cm² o sección de núcleo. Con mayor cantidad de líneas de fuerza, se tiene por lo tanto mayor corriente de autoinducción. Así, vemos que el hierro tiene mayor permeabilidad que el aire, luego, un núcleo de hierro incrementa la inductancia de las bobinas, lo mismo que un núcleo de ferrita.

Inductancia mutua

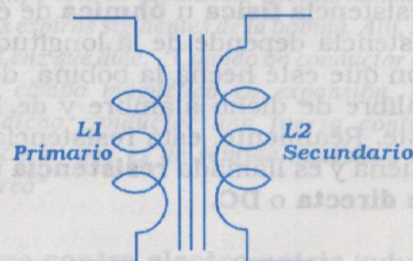
Cuando un par de bobinas se encuentran con sus espiras paralelas la una a la otra, se presenta el fenómeno conocido como **inducción mutua**. Es decir, una bobina está en capacidad de **inducir** tensión en la otra.

Para este caso, la figura 10-16a, muestra un par de bobinas montadas, dentro del mismo núcleo. Al cerrar el interruptor, el campo magnético generado por la bobina L1, mientras se expande, corta las espiras de la bobina L2.

En L2, aparece una tensión inducida que será proporcional al número de espiras que



10-16a



10-16b

tenga. Tan pronto la corriente se estabiliza, lo mismo que el campo magnético en L1, entonces, cesa la inducción y por lo tanto, la tensión aparecida en L2.

Al abrir el interruptor S1, de nuevo el campo magnético en L2, **se contrae** y se mueve en sentido contrario a cuando se expandió. El resultado es que ahora este campo en contracción, induce una tensión en L2, pero de sentido opuesto. Cuando el campo magnético es nulo, lo mismo que la corriente a través de la bobina, desaparece de hecho la tensión en L2.

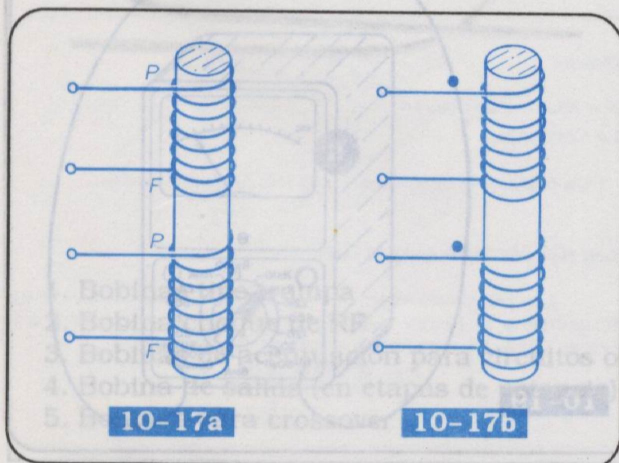
Conclusión

Cualquier bobina alimentada con corriente directa o continua, induce en otra bobina colocada en su campo de acción, una tensión, **solo en el momento** en que se abre o cierra el interruptor o de otro modo, solo en el momento en que la corriente tiende a disminuir o a incrementar su valor.

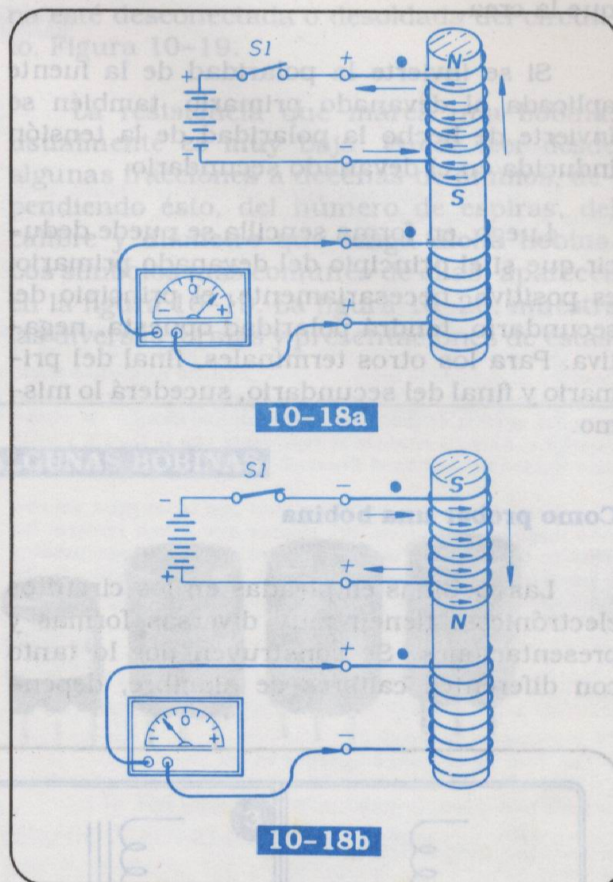
Este principio es de vital importancia, pues en el se basan los transformadores. La bobina que induce tensión en la otra, es llamada **bobina primaria.** La que recibe la tensión inducida, es llamada **bobina secundaria.** Su símbolo aparece en la figura 10-16b.

Polaridad de la tensión inducida

Cuando se elabora una bobina, esta tiene dos terminales, llamado uno **principio** y



10-17a 10-17b



10-18a

10-18b

es identificado en algunos planos con la letra **P** o con un punto. El otro terminal de la bobina, es llamado final e identificado bien sea con la letra **F** o sin punto. Observar figuras 10-17a y 10-17b. Para nuestras explicaciones, el principio será identificado con un punto (●).

Si ahora le conectamos al devanado secundario un voltímetro con cero central y procedemos a aplicarle DC al devanado primario, al cerrar **momentáneamente** a S1, veríamos por ejemplo que la aguja se mueve hacia el lado derecho. Figura 10-18a.

Si ahora cambiamos la polaridad de la fuente DC conectado al devanado primario y de nuevo **cerramos momentáneamente** a S1, veríamos que ahora la aguja se movería hacia el lado izquierdo. Figura 10-18b.

Lo anterior, nos demuestra varios hechos muy importantes, a saber:

La tensión inducida en el devanado secundario, es de sentido opuesto a la original

que la crea.

Si se invierte la polaridad de la fuente aplicada al devanado primario, también se invierte de hecho la polaridad de la tensión inducida en el devanado secundario.

Luego, en forma sencilla se puede deducir que si el principio del devanado primario, es positivo, necesariamente, el principio del secundario, tendrá polaridad opuesta, negativa. Para los otros terminales, final del primario y final del secundario, sucederá lo mismo.

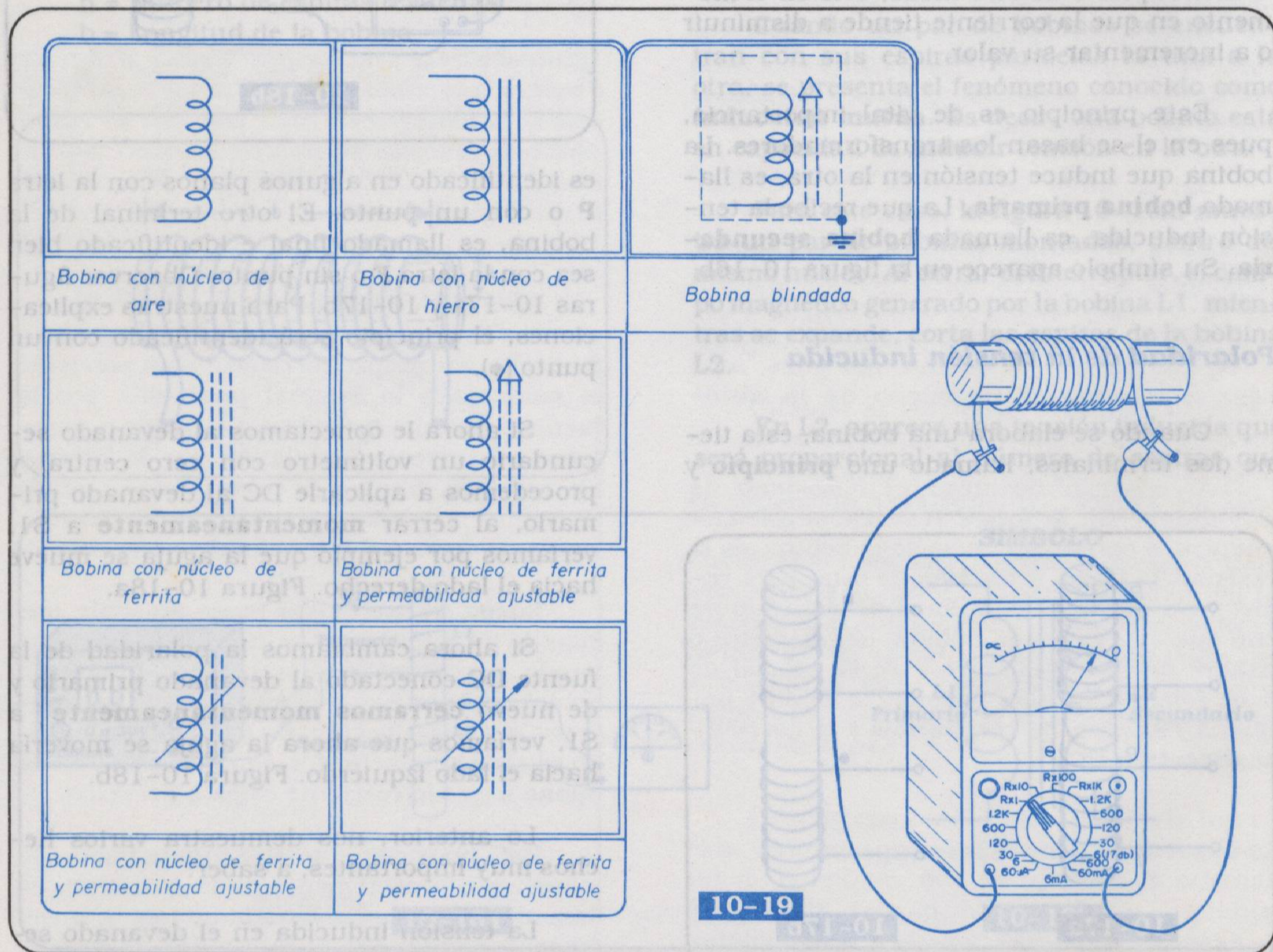
Como probar una bobina

Las bobinas empleadas en los circuitos electrónicos, tienen muy diversas formas y presentaciones. Se construyen por lo tanto con diferentes calibres de alambre, dependiendo este último, de las corrientes que por ella circulen.

Además, según las necesidades del circuito, algunas vienen **blindadas.** Este blindaje consiste en un tarro metálico de aluminio que cubre la bobina, y que va conectado a masa o polo negativo de la fuente. Evita que los campos magnéticos externos, introduzcan ruido en la bobina. Figura 10-19.

Difícilmente, una bobina confeccionada con un calibre grueso de alambre, se puede abrir, exceptuando claro está el caso de un corto circuito, que haga fluir por ella una altísima corriente.

Es común, que una bobina en un circuito de radio frecuencia se **abra**. Estas bobinas, emplean alambre muy delgado y soportan muy **pequeñas corrientes**. Por esta razón, un exceso de ésta, puede **fundirlo** facilmente.



10-19

También puede presentarse un caso muy frecuente. Por deficiente aislamiento, en sitios muy calientes o tropicales, donde exista mucha humedad, se forma una película de **sulfato.** Este termina corroyendo y abriendo el alambre de cobre, ocasionando su ruptura.

De todos modos, lo usual es recurrir al óhmetro para probar continuidad, entre los terminales de la misma, ojalá en la escala de Rx1. Para probarla, es necesario que la bobina esté desconectada o desoldada del circuito. Figura 10-19.

La resistencia que marca una bobina, usualmente es muy baja. Puede leer desde algunas fracciones a decenas de ohmios, dependiendo ésto, del número de espiras, del calibre y diámetro que tenga dicha bobina. Los símbolos más comunes de ellas, aparecen en la figura 10-19. La figura 10-20, muestra las diversas formas y presentaciones de éstas.

ASPECTO FISICO DE ALGUNAS BOBINAS



1. Bobinas tipo trampa
2. Bobina choque de RF
3. Bobinas de acentuación para circuitos osciladores
4. Bobina de salida (en etapas de potencia)
5. Bobinas para crossover

10-20

El circuito magnético

El circuito magnético, tiene un comportamiento muy similar al de un circuito eléctrico y por lo tanto, también está regido por leyes muy similares a la Ley de Ohm.

Reluctancia magnética

Así como en el circuito eléctrico, existe resistencia u, oposición al paso de la corriente, en el circuito magnético existe la **reluctancia**, que es la oposición total de un circuito o una sustancia al paso de las líneas de fuerza que forman un campo magnético. Esta reluctancia se representa con la letra **R** y tiene como unidad de medida el **Oersted**.

Esta reluctancia, se incrementa con la longitud del circuito magnético, es decir, del camino que deban recorrer las líneas de fuerza por el material que está siendo magnetizado y es inversamente proporcional, al área de núcleo empleado. La reluctancia se puede calcular por medio de la siguiente fórmula:

$$R = \frac{1}{\mu . Sn}$$

Donde:

R = Reluctancia en Oersted
l = Longitud del circuito magnético en cm
μ = Permeabilidad del material magnetizado (es una relación)
Sn = Sección o área transversal del núcleo en cm²

Intensidad magnética

Así como en el circuito eléctrico existe la corriente o movimientos de cargas, en el circuito magnético se tiene la intensidad magnética expresada en función de la cantidad de líneas que un cuerpo o una sustancia magnética permite pasar por cada cm² de área o sección.

La sustancia o medio magnetizante que permite pasar menor cantidad de líneas de fuerza magnética por cm² de área, es el aire. La intensidad magnética del aire se representa con la letra **H**. Tiene como unidad de medida el **Gauss**. La intensidad magnética del aire, es el patrón de medida comparativo con relación a otros materiales o sustancias. La intensidad magnética del aire, se puede calcular por medio de la siguiente fórmula:

$$H = 1,256 \times n \times II$$

Donde:

1,256 = Una constante
n = Número de espiras
I = Corriente de la bobina

El hierro, es el extremo opuesto del aire, pues es el que permite pasar mayor cantidad de líneas de fuerza magnéticas por cm² de área. La intensidad magnética del hierro se representa con la letra β (Beta). Tiene como unidad de medida el **Gauss.** La intensidad magnética del hierro, se puede calcular por la siguiente fórmula:

$$\beta = 1,256 \times \mu \times n \times I$$

Donde:

μ = Permeabilidad

Permeabilidad magnética

La permeabilidad magnética de un cuerpo o sustancia magnetizante, es la facilidad que éste presenta, al paso de las líneas de fuerza. Esta permeabilidad se representa con la letra μ y es un coeficiente o relación.

Así pues, la permeabilidad es el coeficiente o relación que resulta al comparar la intensidad magnética de otro cuerpo sustancia con la del aire.

Suponiendo, que la intensidad magnética del aire (H), es de 20 líneas/cm² (20 Gauss) y la del hierro (β) de 60.000 líneas/cm² (60.000 Gauss), entonces la permeabilidad del hierro será:

$$\mu = \frac{\beta}{H} = \frac{60000\ Gauss}{20\ Gauss} = 3000$$

Densidad magnética

La densidad magnética, es la cantidad total de líneas que presenta un cuerpo o sustancia de acuerdo a su área o sección. No confundirla con la intensidad magnética, que está expresa en función de cada cm² de área. La densidad magnética se representa con la letra ϕ (Fi). Tiene como unidad de medida el **Maxwell.**

La densidad magnética, es el producto de la intensidad magnética (H) por el área o sección (Sn) del material. En un solenoide (bobina con núcleo de aire), la densidad magnética ϕ es igual a:

$$\phi = H \times Sn$$

En los electroimanes, bobina con núcleo de hierro, la densidad magnética es el producto de su intensidad magnética (β) por el área o sección (Sn). La densidad magnética ϕ es igual a

$$\phi = \beta \times Sn$$

Fuerza magnetomotriz (fmm)

La fuerza magnetomotriz (fmm), es la fuerza portante o magnetizante de una bobina capaz de mantener un determinado flujo de líneas de fuerza por la sección transversal del núcleo. Esta directamente relacionada con el producto de las vueltas por la corriente en amperios que circula por la bobina. Tiene como unidad de medida el **Gilbert**. Su fórmula es:

$$fmm = 1,256 \times N \times I$$

Donde:

N = Número de espiras
I = Corriente

* Un Gilbert, es equivalente a 0,795 Amperio-vueltas.

Ley del circuito magnético

Las relaciones entre la reluctancia, la densidad del flujo magnético y la fuerza magnetomotriz, son muy similares a la Ley de Ohm. La reluctancia se puede expresar así:

$$\Phi = \frac{fmm}{R} = \frac{1,256\ x\ N\ x\ I}{\frac{1}{\mu . Sn}}$$

11 EL TRANSFORMADOR

Conociendo ya que es magnetismo y electromagnetismo, cómo funciona una bobina y todos los demás efectos asociados, estamos en la capacidad de estudiar el transformador.

Principio de funcionamiento

Todo transformador en su concepción más elemental, está compuesto por un par de bobinas y un núcleo. El núcleo es de hierro al silicio y laminado. Ver figura 11-1.

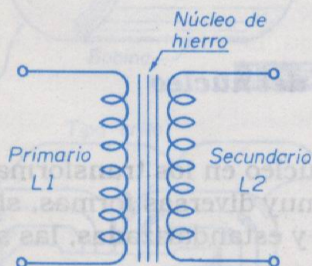
Cuando hablamos de bobinas, hablamos de la inductancia mutua. Esta acción de inducción o inductancia, **se presentaba** cuando a la bobina primaria, L1, le aplicamos corriente directa en el **momento mismo** de cerrar o abrir el interruptor, **ni** antes **ni** después.

La razón de ello es muy sencilla. El devanado o bobina primaria L1, induce tensión en el devanado o bobina secundaria L2, cuando su campo magnético se expande y cuando se contrae.

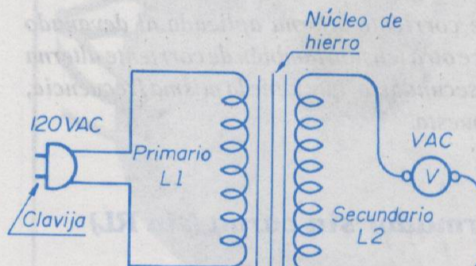
Si le aplicamos una tensión de corriente alterna (VAC) al devanado primario, entonces por éste fluye una corriente que también es alterna y por lo tanto, está fluyendo primero en un sentido y luego en el otro.

Además, su campo se está **expandiendo** y **contrayendo** de acuerdo a la frecuencia de la red, en nuestro caso a 60 Hz.

Esta corriente alterna **fluyendo** por el devanado primario, **induce** con su semiperíodo positivo, una tensión en el devanado secundario que tiene **polaridad opuesta**. Recuerde



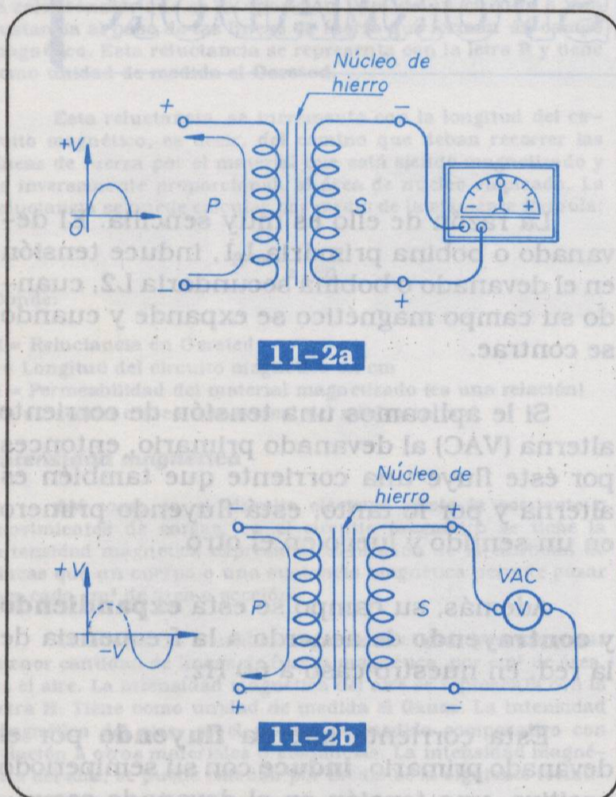
11-1a



11-1b

que toda tensión inducida se opone a la original que la creó, Figura 11-2a.

Cuando la tensión AC de entrada aplicada al primario cambie de polaridad con la presencia del semiperíodo negativo, la corriente por el devanado primario también cambia de polaridad y ahora fluye en otro sentido. De hecho, la tensión inducida en este devanado secundario, es de sentido opuesto a la del primer semiperíodo y tiene la polaridad mostrada en la figura 11-2b.



Conclusión

Una tensión de corriente alterna aplicada al devanado primario, induce otra tensión también de corriente alterna en el bobinado secundario, que tiene la misma frecuencia, pero la fase opuesta.

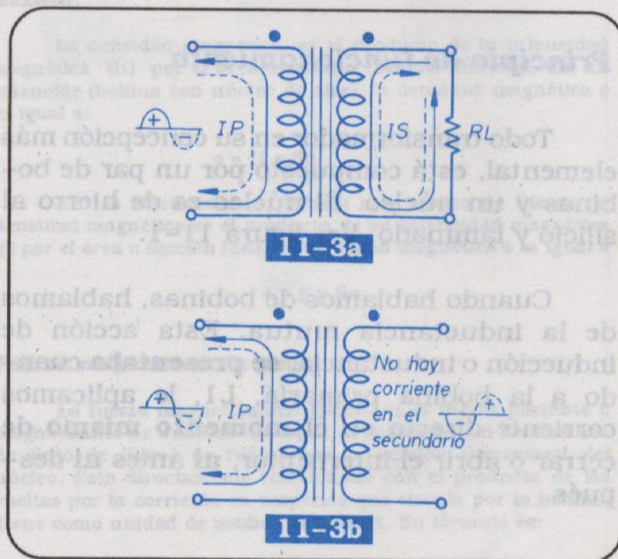
El transformador sin carga (sin RL)

En las anteriores explicaciones, al devanado secundario lo dejamos sin carga (R), es decir, no tiene ningún receptor que **pida** corriente. El secundario tiene sus dos terminales al aire, está **abierto**.

Sin embargo, al conectarle una carga, por ejemplo una bobina o un resistor, por **este receptor** fluirá una corriente cuyo valor depende de la tensión del secundario y de la resistencia del dicho receptor.

Esta corriente a través del devanado secundario, es de **sentido opuesto** a la corriente que atraviesa el devanado primario. Se dice entonces que esta corriente está desfasada (fuera de fase), 180°. Ver las figuras 11-3a y 11-3b.

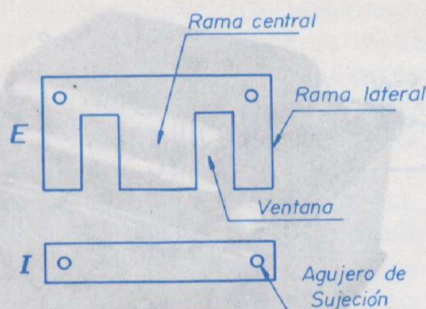
En lo sucesivo, hallaremos que en los transformadores solo se representa uno de los dos sentidos para facilitar el dibujo. Pero no se debe olvidar, que la corriente fluye en ambos sentidos.



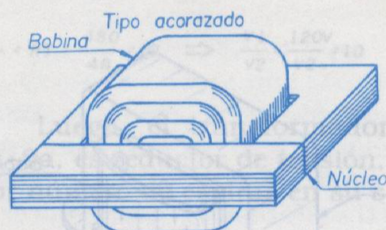
Formas del núcleo

El núcleo en los transformadores, puede adoptar muy diversas formas, siendo las más comunes y estandarizadas, las siguientes:

1. Núcleo E e I
2. Núcleo abierto
3. Núcleo en anillo o Toroidal



11-4a

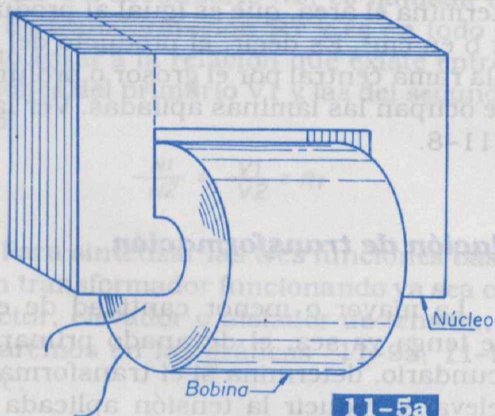


11-4b

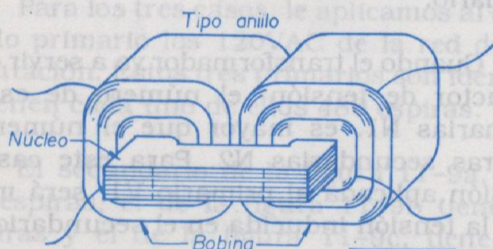
Núcleo de forma E e I

Esta forma de núcleo es la más popular. El núcleo esta elaborado con base a láminas de hierro al silicio que tienen la forma de una **E** y de una **I**. Figuras 11-4a y 11-4b.

Las láminas que tienen un grosor cercano a medio milímetro, tiene cada una de ellas una película de óxido (que abarca casi 1/10 de su grosor), que las aisla entre si. Se apilan una sobre la otra, en forma cruzada para formar determinada área o sección transversal. Las bobinas, la primaria y la secundaria se devanan en la rama central.



11-5a



11-5b

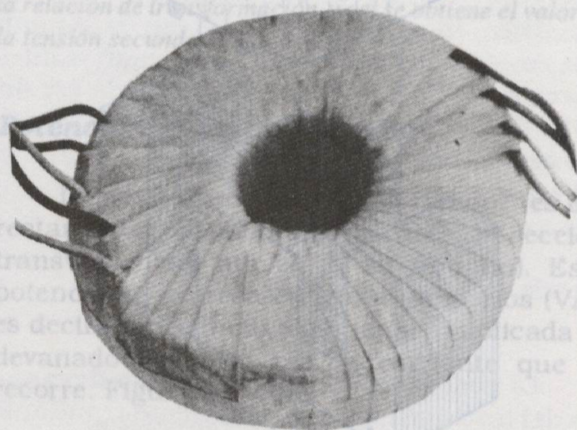
Núcleo abierto

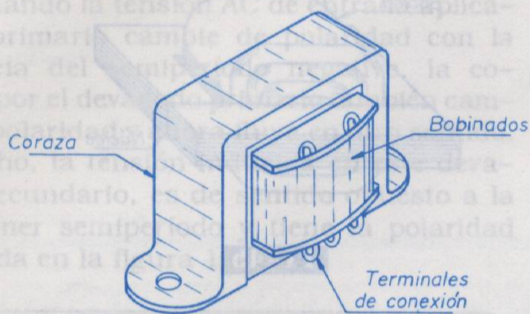
Esta forma de núcleo no es muy empleada, salvo el caso donde se desea reducir el espacio del transformador. Suele venir en forma rectangular y otras veces, en forma ovalada. Figuras 11-5a y 11-5b.

Núcleo en formo Toroidal

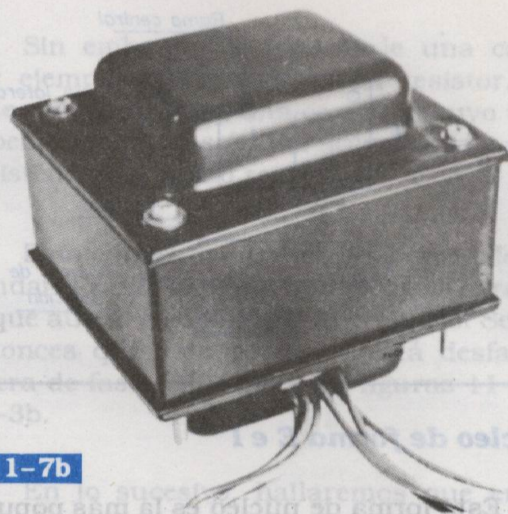
Este núcleo, también es poco usual. Su empleo está casi restringido a circuitos de alta frecuencia y a fuentes de alimentación como transformadores de línea. Además, a algunas fuentes conmutadas para televisión. Ver figura 11-6.

A partir de este momento, nos referimos al transformador de núcleo con forma de **E** o **I**. Su empleo es necesario y frecuente en nues-


11-6



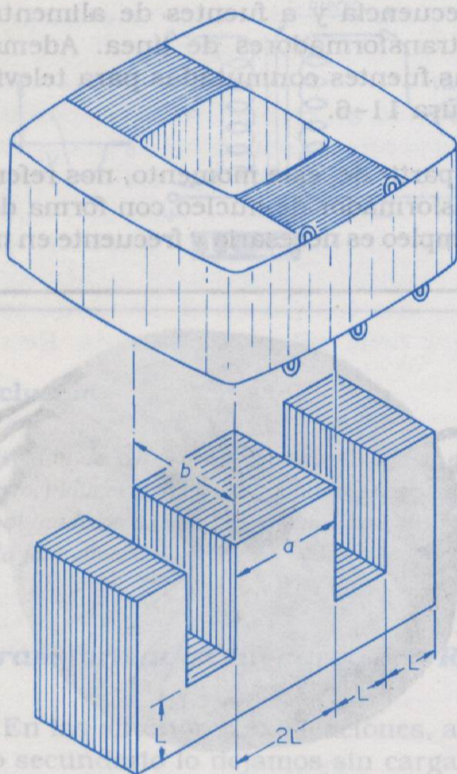
11-7a



11-7b

tras fuentes de alimentación. La figura 11-7a muestra la apariencia de los transformadores de precio económico y la de la figura 11-7b, de precio un poco más costoso.

En la primera versión, los terminales del transformador vienen soldados a unos pines o conectores. En el segundo caso, los cables salen directamente del transformador y se pueden manipular libremente. La presentación de éste último, es mucho más rígida y más pesada.



11-8

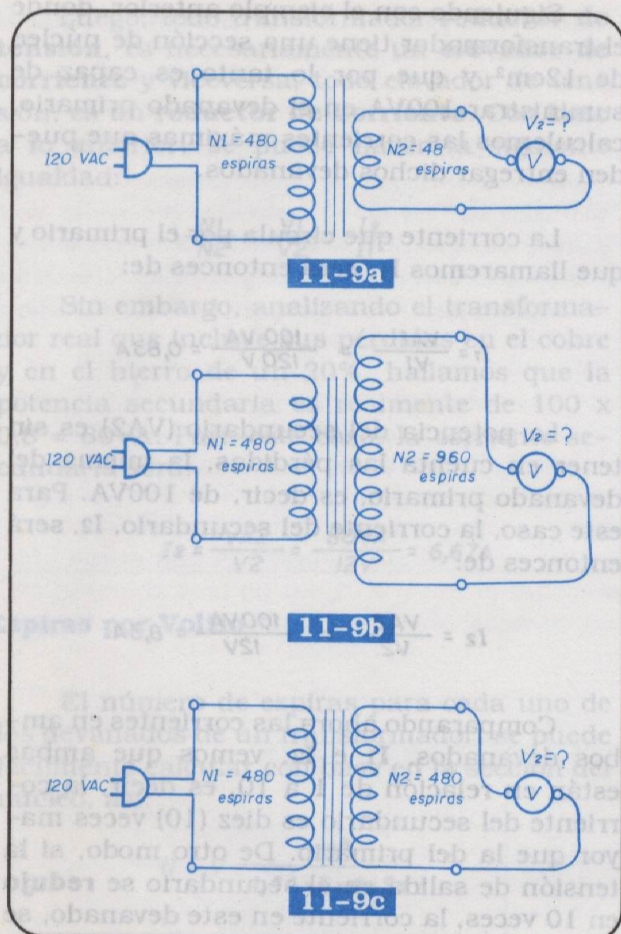
En cualquiera de las dos versiones, las bobinas vienen devanadas sobre una pequeña formaleta y se introduce en la rama central del núcleo. Esta rama central, es la que determina el área, que es igual al producto de a x b en cm². Es decir, el producto del ancho de la rama central por el grosor o profundidad que ocupan las láminas apiladas. Ver la figura 11-8.

Relación de transformación

La mayor o menor cantidad de espiras que tenga ya sea, el devanado primario o el secundario, determina si el transformador va a elevar o reducir la tensión aplicada en su primario.

Cuando el transformador va a servir como reductor de tensión, el número de espiras primarias N1. es mayor que el número de espiras secundarias N2. Para este caso, la tensión aplicada al primario V1, será mayor que la tensión inducida en el secundario V2.

La relación entre las espiras del primario



N1 y las del secundario N2, es llamada relación de transformación **R**$_T$ y es en todo momento igual a la relación que existe entre las tensiones del primario V1 y las del secundario V2, o:

$$\frac{N1}{N2} = \frac{V1}{V2} = R_T$$

Para sintetizar las tres funciones básicas de un transformador funcionando ya sea como reductor, elevador o aislador de tensión, nos apoyaremos en las gráficas 11-9a, 11-9b y 11-9c.

Para los tres casos, le aplicamos al devanado primario los 120VAC de la red de alimentación. Estos tres primarios son idénticos y tienen cada uno de ellos 480 espiras.

El secundario de la figura 11-9a, tiene 48 espiras, el de la figura 11-9b tiene 960 espiras y el de la figura 11-9c, tiene 480. Determinemos cuales son las tensiones de salida.

1º Caso. Figura 11-9a

$$\frac{N1}{N2} = RT = \frac{480}{48} = 10 \Rightarrow \frac{V1}{V2} = \frac{120V}{V2} = 10 \Rightarrow V2 = \frac{120}{10} = 12V$$

Luego, el transformador de la figura 11-9a, es reductor de tensión, por tener menor número de espiras en su secundario.

2º Caso. Figura 11-9b

$$\frac{N1}{N2} = RT = \frac{480}{960} = 0{,}5 \Rightarrow \frac{V1}{V2} = RT = \frac{120V}{V2} = 0{,}5 \Rightarrow V2 = \frac{120}{0{,}5} = 240V$$

En este caso, el transformador es elevador de tensión, por tener su devanado secundario mayor número de espiras con relación al primario.

3º Caso. Figura 11-9c

$$\frac{N1}{N2} = RT = \frac{480}{480} = 1 \Rightarrow \frac{V1}{V2} = RT = \frac{120V}{V2} = 1 \Rightarrow V2 = \frac{120}{1} = 120V$$

Para este tercer caso, el transformador es aislador, pues la tensión en el devanado secundario es igual a la del primario por tener ambos devanados igual número de espiras.

Nota:

Si no se tienen buenos conocimientos matemáticos, se observará que para obtener el valor de la tensión inducida en el secundario, basta con dividir la tensión primaria por la relación de transformación y así se obtiene el valor de la tensión secundaria.

Potencia del transformador

La potencia de un transformador, es directamente proporcional al área o sección transversal del núcleo (a su tamaño). Esta potencia se expresa en Volta-Amperios (VA), es decir, al producto de la tensión aplicada al devanado primario por la corriente que lo recorre. Figura 11-10a.

Esta sección transversal (Sn), es la que ocupa la bobina en la rama central y basándonos en la gráfica 11-8, es igual al

producto de **a** x **b**, en cm². Se puede determinar esta área en función de la potencia, así:

$$Sn = 1{,}2\sqrt{P}$$

De esta ecuación, conociendo de antemano el tamaño o sección del núcleo en cm², podemos determinar la potencia que puede suministrar un transformador, que tenga esta sección, así:

$$P = \left(\frac{Sn}{1{,}2}\right)^2$$

Por ejemplo, para determinar cual es la potencia en VA que podría suministrar un transformador cuyas medidas son, **a** = 3cm y **b** = 4cm, aplicamos el siguiente proceso:

$$Sn = a \times b = 3 \times 4 = 12\ cm^2$$

$$P = \left(\frac{12\ cm}{1{,}2}\right)^2 = 100VA$$

Lo anterior, nos demuestra que un transformador con un área o sección transversal de 12cm², está habilitado para suministrar una potencia de 100 VA (Volta-Amperios).

Idealmente, los VA del primario, deben ser iguales a los VA del secundario. Sin embargo, lo anterior no es cierto, porque todo transformador produce pérdidas de potencia, tanto en el hierro como en el núcleo.

Estas pérdidas, son absorbidas por el devanado primario del transformador y son en todo momento, inversamente proporcionales al tamaño o potencia del núcleo.

Para fines prácticos, se puede asumir que en todo transformador con tamaños inferiores a 500 VA, el rendimiento puede ser del 80%. Es decir, del 100% de potencia entregada al primario, el secundario solo recibe el 80%.

Corriente en el transformador

La corriente que pasa por **cada devanado** del transformador es el cociente resultante de dividir la potencia en Volta-Amperios (VA) de cada devanado por la tensión aplicada al mismo.

Siguiendo con el ejemplo anterior, donde el transformador tiene una sección de núcleo de 12cm² y que por lo tanto es capaz de suministrar 100VA en el devanado primario, calculemos las corrientes máximas que pueden entregar dichos devanados.

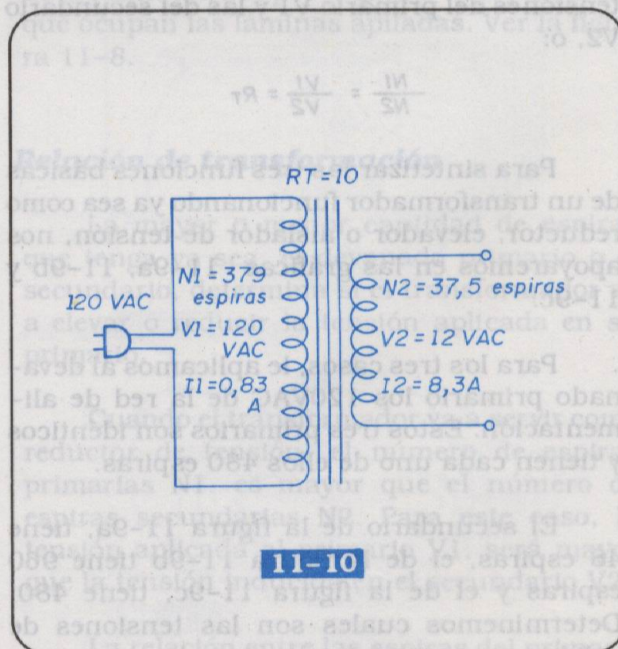
La corriente que circula por el primario y que llamaremos I_1, será entonces de:

$$I_1 = \frac{VA1}{V1} = \frac{100\ VA}{120\ V} = 0{,}83A$$

La potencia del secundario (VA2) es, sin tener en cuenta las pérdidas, la misma del devanado primario, es decir, de 100VA. Para este caso, la corriente del secundario, I_2, será entonces de:

$$I_2 = \frac{VA2}{V2} = \frac{100\ VA}{12V} = 8{,}3A$$

Comparando ahora las corrientes en ambos devanados, $\mathbf{I_1}$ e $\mathbf{I_2}$, vemos que ambas están en relación de 1 a 10, es decir, la corriente del secundario es diez (10) veces mayor que la del primario. De otro modo, si la tensión de salida en el secundario se **redujo** en 10 veces, la corriente en este devanado, se incrementará en igual cantidad, es decir, se multiplicará por 10.



11-10

Luego, todo transformador **reductor de tensión**, es necesariamente un **elevador de corriente** y viceversa, todo elevador de tensión, es un **reductor de corriente**. Con base a lo anterior, se puede hacer la siguiente igualdad:

$$\frac{N1}{N2} = \frac{V1}{V2} = \frac{I2}{I1}$$

Sin embargo, analizando el transformador real que incluye sus pérdidas en el cobre y en el hierro de un 20%, hallamos que la potencia secundaria es realmente de 100 x 0,8 = 80VA. Para este caso, la corriente secundaria será:

$$I2 = \frac{VA2}{V2} = \frac{80VA}{12V} = 6{,}67A$$

Espiras por Voltio

El número de espiras para cada uno de los devanados de un transformador, se puede fácilmente calcular con base en la sección del núcleo, así:

$$N = V \frac{10^8}{4{,}44 \times F \times \beta \times Sn}$$

donde:

N = Número de vueltas
V = Tensión del devanado en voltios
F = Frecuencia de la red, 60Hz
β = Intensidad magnética para el hierro, 10.000 líneas x cm²
Sn = Sección del núcleo en cm²
4,44 = Constante

Si asumimos que necesitamos hallar el número de espiras para 1V (esp x vol), el valor de la tensión **V** en la ecuación, lo reemplazamos por uno (1). Haciendo reducciones, se obtiene finalmente una fórmula simplificada, que nos permite hallar las espiras por voltio, así:

$$Esp \times Vol = \frac{37{,}5}{Sn}$$

Como la sección del núcleo de nuestro transformador es de 12cm², entonces las espiras por voltio para este transformador serán de:

$$\frac{37{,}5}{Sn} = \frac{37{,}5}{12} = 3{,}12 \text{ espiras x voltio}$$

Como se supone que el devanado primario, N1, será conectado a la red de 120V, ésta será la tensión V1. Así pues, el número de espiras del primario o N1, será de:

120 x 3,12 = 374.

De igual modo, si deseamos obtener 12V en el devanado secundario, esta será la tensión V2. El número de espiras de dicho secundario o N2, será de:

12 x 3,12 = 37,4 (aproximamos a 38).

Calibre del alambre

El calibre del alambre, se puede determinar con base a la corriente que va a circular por la bobina. Dicho calibre, está en función del área o sección transversal del conductor (SC). Esta área o sección transversal (SC), se puede calcular así:

$$SC = \frac{I}{D}$$

donde:

I = Corriente que circula por el devanado
D = Densidad de corriente permitida por cada mm² de sección transversal de un alambre de cobre. Esta densidad, es de 3A para uso continuo del transformador, o de 3,5A para uso intermitente. Escogemos 3A suponiendo que el transformador estará permanentemente conectado a la red.

Para calcular la sección del conductor primario (SC1), tomamos la corriente que circula por este devanado, de 0,83A y procedemos así:

$$SC1 = \frac{0{,}83}{3{,}0} = 0{,}27\, mm^2$$

Para calcular la sección del conductor secundario (SC2), tomamos su corriente de 8,3A y efectuamos:

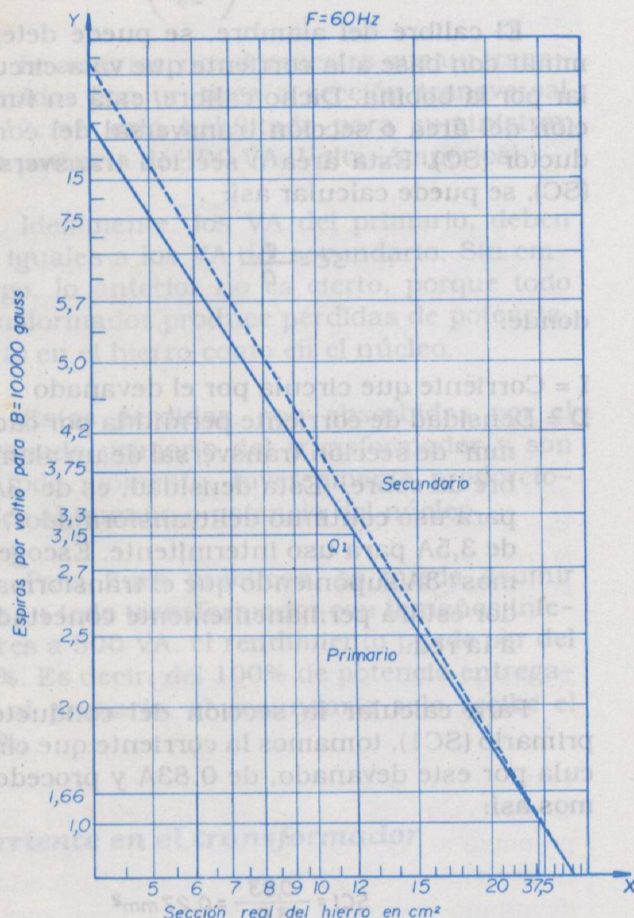
$$SC2 = \frac{8,3}{3,0} = 2,7\ mm^2$$

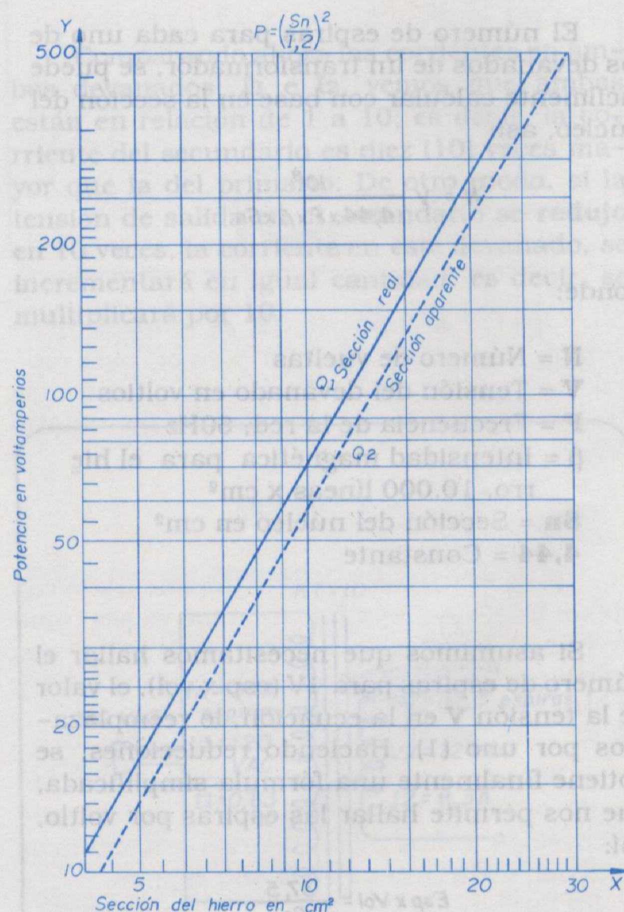
Consultando la tabla sobre calibres de conductores publicada en el fascículo Nº1, página 34 de Electrónica General, hallamos que un conductor con un área de 0,27mm², está entre los números 22 y 23 para el devanado primario. Optamos en este caso por escoger el de menor número, el 22, por ser el de mayor diámetro.

De igual modo, un calibre de alambre que tenga 2,7mm² está entre los números 12 y 14. Aquí, sin embargo, optamos por escoger el número 12 que tiene 3,3mm² y que es el que más se le aproxima. La figura 11-10, muestra la gráfica del transformador equivalente para estos cálculos.

Nota:
Casi todos los conductores (alambres) empleados en los transformadores, son de cobre esmaltado, salvo los utilizados en los de alta potencia que suelen venir forrados en algodón. Al medir los conductores esmaltados con un calibrador o galga, debe quitárseles el barniz que los recubre, pues éste nos engaña, indicando un mayor calibre.

Las tablas de la figura 11-11, sirven para facilitar los cálculos de aquellos que sean apáticos a las matemáticas o tengan dificultades con ellas.





11-11

La de la figura 11-11a, representa con su eje **X** los diferentes valores que pueden tener la sección del núcleo (a x b). El eje **Y**, representa las espiras por voltios necesarias por determinada sección del núcleo en cm .

La figura 11-11b, establece las relaciones entre la sección del núcleo, eje horizontal X y la potencia en VA que éste puede suministrar, eje Y.

En la figura 11-11a, aparecen los puntos Q1 y Q2, que corresponden a los cálculos realizados. El punto Q1, corresponde a un núcleo con 12 cm^2 de sección, eje X y 3,15 espiras por voltio, eje Y. El punto Q2, corresponde al mismo transformador, pero teniendo en cuenta que el óxido de las láminas reduce su potencia real en un 10% y por lo tanto, se necesitarían mayor número de espiras por voltio, para este caso, el resultado obtenido es de aproximadamente 3,3 esp x vol.

En la tabla de la figura 11-11b, se muestra de igual modo, como un núcleo de 12 cm^2 de sección (eje X), suministra 100VA de potencia aparente (eje) Y), punto Q1.

Sin embargo, si descontamos el óxido de aislamiento entre chapas de hierro, aproximadamente un 10% del grosor de cada una de ellas, la potencia real (línea invisible) sería inferior, aproximadamente unos 80VA, punto Q2.

Para fines prácticos, todos los cálculos del transformador, se pueden asumir con relación a las líneas oblicuas de trazo continuo (desechando las líneas invisibles) y los resultados obtenidos, son altamente aceptables.

ASPECTO FISICO DE ALGUNOS TRANSFORMADORES



1. Transformador de impedancias (balun)
2. Transformadores de detección
3. Transformador de frecuencia intermedia
4. Transformador de alimentación para equipo de sonido
5. Transformadores de salida.

12 COMPORTAMIENTO DEL CONDENSADOR CON DC

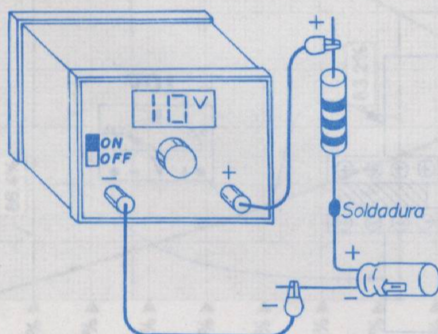
En este capítulo, comenzaremos el estudio del comportamiento de un condensador al cual se le ha aplicado una tensión de corriente directa o VDC. Se recomienda hacer un montaje como el de la figura 12-1a, empleando para ello una fuente regulada que suministre 10VDC, tal como la que será explicada en el próximo capítulo.

En un montaje como el de la figura 12-1a, cuyo circuito equivalente es el de la figura 12-1b, se busca cargar el condensador **C** de 1μF a través del resistor **R** de 10KΩ. El comportamiento de este circuito, es como sigue:

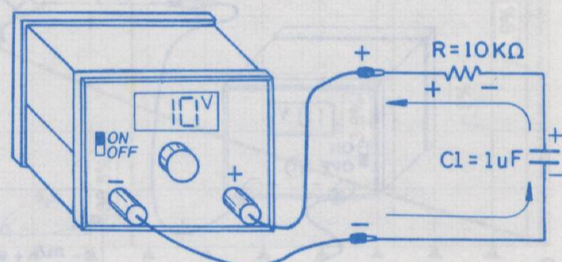
Al cerrar el interruptor S1, desde el polo negativo de la fuente, salen algunos electrones hacia la placa del condensador allí conectada, cargándole **negativamente**.

Como es apenas lógico, es necesario pensar que si de la batería salió determinada cantidad de electrones, otra cantidad igual a la que salió, **debe retornar a ésta**, para que haya circuito cerrado y la fuente mantenga la misma diferencia de potencial entre sus bornes.

Así pues, el polo positivo de la batería o de la fuente, **le quita** o **extrae** otra cantidad igual de electrones a la placa del condensador allí conectado. De este modo, esta placa queda cargada **positivamente** por deficiencia o



12-1a



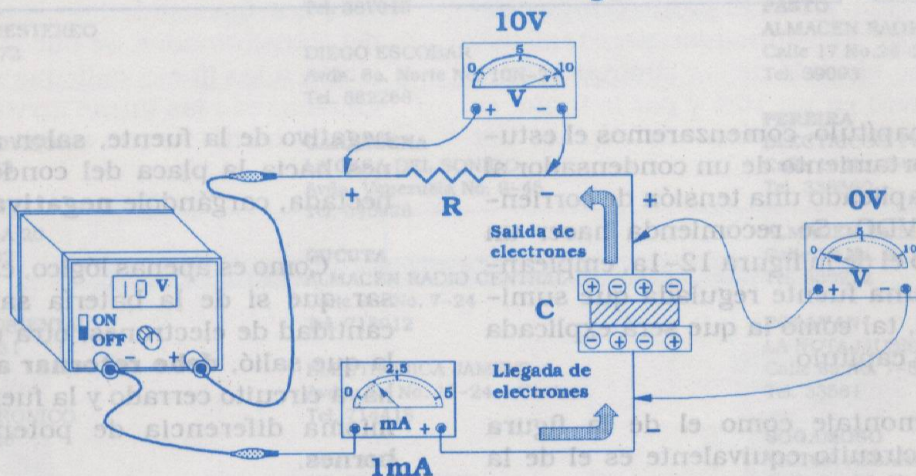
12-1b

ausencia de electrones. Figura 12-2a y 12-2b.

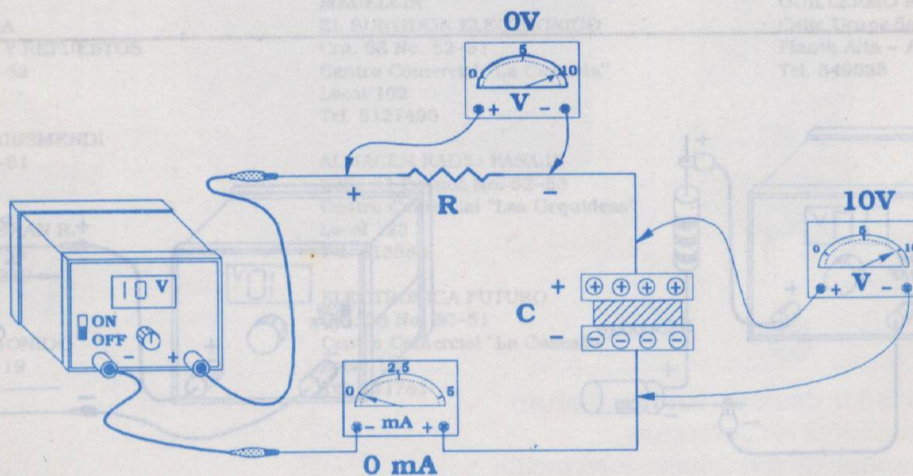
Recuerde esto. Los electrones en ningún momento **pasaron** por el condensador, pues ambas placas están separadas por un **dieléctrico o material aislante**.

Se crearon entonces, en forma simultánea, dos movimientos de electrones. Uno del **polo negativo** de la fuente hacia la **placa del condensador** allí conectado y el otro movimiento, el de **los electrones** de la placa del condensador conectado al polo positivo, hacia la fuente, para completar el circuito.

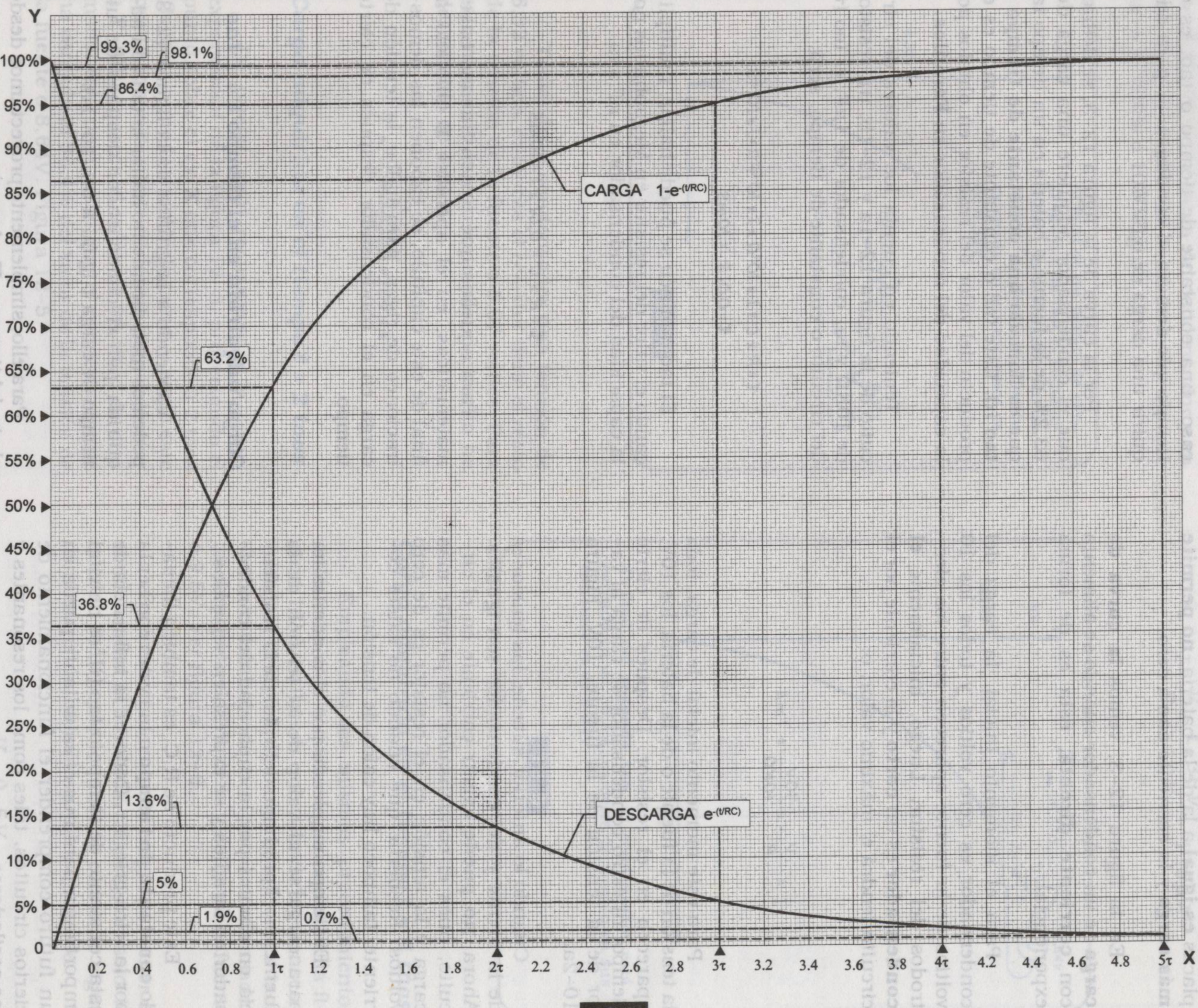
A medida que el condensador se va cargando, sus placas se van **saturando**. La inferior **con electrones** y la superior **con protones** o **cargas positivas** (por deficiencia de electrones).



12-2a



12-2b



Y
100%
95%
90%
85%
80%
75%
70%
65%
60%
55%
50%
45%
40%
35%
30%
25%
20%
15%
10%
5%
0
99.3%
98.1%
86.4%
63.2%
36.8%
13.6%
5%
1.9%
0.7%
CARGA 1-e^-(t/RC)
DESCARGA e^-(t/RC)
0.2
0.4
0.6
0.8
1τ
1.2
1.4
1.6
1.8
2τ
2.2
2.4
2.6
2.8
3τ
3.2
3.4
3.6
3.8
4τ
4.2
4.4
4.6
4.8
5τ
X
12-3

Esto hace que la corriente de carga para el condensador, vaya **disminuyendo** en función del tiempo. Cuando la tensión entre sus placas **es igual** a la de la batería, **no permite más carga** y la corriente **cae** a cero.

En la figura 12-3, vemos **la curva de carga** de un condensador cuando se alimenta con **corriente directa**, ésta es de forma exponencial.

Para el momento inicial, la carga del condensador es cero voltios y todos los 10 voltios de la fuente aparecen entre los electrodos del resistor. Luego, inicialmente **el condensador** es un **corto** y la corriente por el circuito tendrá el máximo valor, o:

$$I = \frac{V}{R} = \frac{10V}{10K\Omega} = 1mA$$

Para este momento inicial de carga, toda la tensión de la fuente o de la batería, los 10V, aparecen en el resistor. Después de cierto tiempo, nuestro condensador se carga al valor de la tensión de la fuente, 10V. Figura 10-2a.

Cuando lo anterior sucede, las tensiones de la fuente y del condensador son iguales. Ahora, **no puede** existir corriente en el circuito, pues el condensador no permite más carga y la tensión en el resistor es de cero voltios. Recuerde que cuando no existe corriente, tampoco hay caída de tensión.

El tiempo empleado por el condensador para cargarse al valor de la tensión de la fuente, es el producto del valor de la resistencia en ohmios por la capacidad del condensador en faradios y se expresa en segundos.

Este producto de R.C, es también llamado **constante de tiempo** o tao y se representa por la letra griega τ. Conocer la influencia de esta constante de tiempo o tao (τ), es de vital importancia para que el estudiante pueda en un futuro comprender el funcionamiento de ciertos circuitos, tales como los resonantes y los osciladores.

Cualquier condensador, emplea una constante de tiempo para adquirir una tensión de carga igual al 63,2% de la fuente y a través de una resistencia R. Para nuestro caso, una constante de tiempo o tao, es el tiempo que demora el condensador para adquirir una carga de 6,32V.

Por la curva de la figura 12-3, se deduce que el condensador adquiere una carga del 63,2% de la fuente o batería en un tiempo tal que es llamado **una constante de tiempo** o **tao** (τ). Este tao o constante de tiempo es el producto del valor del resistor en ohmios por la capacidad del condensador en **Faradios.**

Teniendo en cuenta los valores del circuito de la figura 12-1a y 12-1b, un resistor de 10KΩ y un condensador de 1μF, el tao (τ) del circuito o constante de tiempo, será:

$$\tau = R \times C = 1 \times 10^4 \Omega \times 1 \times 10^{-6} FD = 1 \times 10^{-2} S$$

$$\tau = 0{,}01S = 10mS$$

El tao también se puede hallar, multiplicando el valor del resistor en Megaohmios por la capacidad del condensador en μF así:

$$\tau = R \times C = 0{,}01 \times 1 = 10mS$$

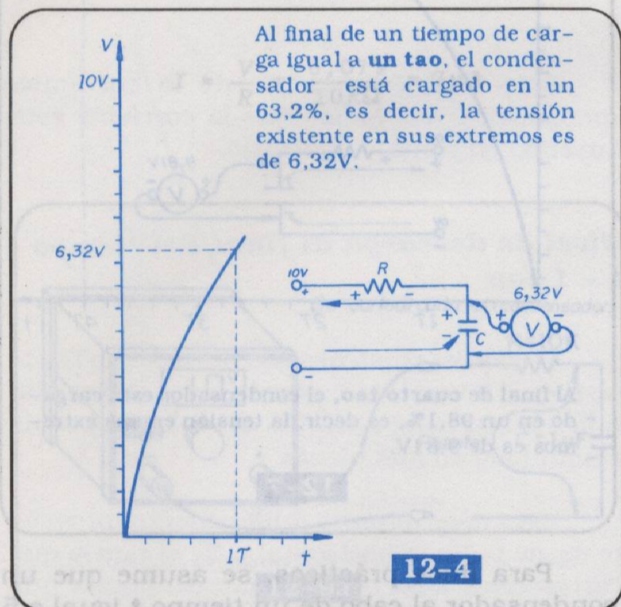
Para aquellos que tienen buenas bases matemáticas, en el apéndice **B** ubicado al final de este capítulo, se exponen las demostraciones de rigor, para hallar la tensión de carga en el condensador después de cierto tiempo.

Carga adquirida en el tiempo t = 1 tao

Volviendo a la gráfica de la figura 12-3, podemos metódicamente hallar la tensión adquirida por el condensador después de un tiempo de carga **t** igual a un tao (1τ).

Para ello, simplemente proyectamos desde el eje del tiempo o **X,** el punto que corresponde a 1 tao (1τ) y en forma paralela al eje **Y**, hasta intersectar la curva exponencial.

Ahora, proyecte este punto de la curva como una perpendicular al eje Y hasta que lo intersecte. Este punto en el eje Y, corresponde al 63,2% de la carga del condensador y en este caso, a 6,32V del total de la fuente que tiene el 100% ó 10V. Figura 12-4.



Al final de un tiempo de carga igual a **un tao**, el condensador está cargado en un 63,2%, es decir, la tensión existente en sus extremos es de 6,32V.

12-4

Teniendo el condensador una tensión de 6,32 voltios, entonces el resistor tiene el resto de la tensión de la fuente o 3,67 voltios. Para este momento la corriente por el circuito ha descendido de 1mA a:

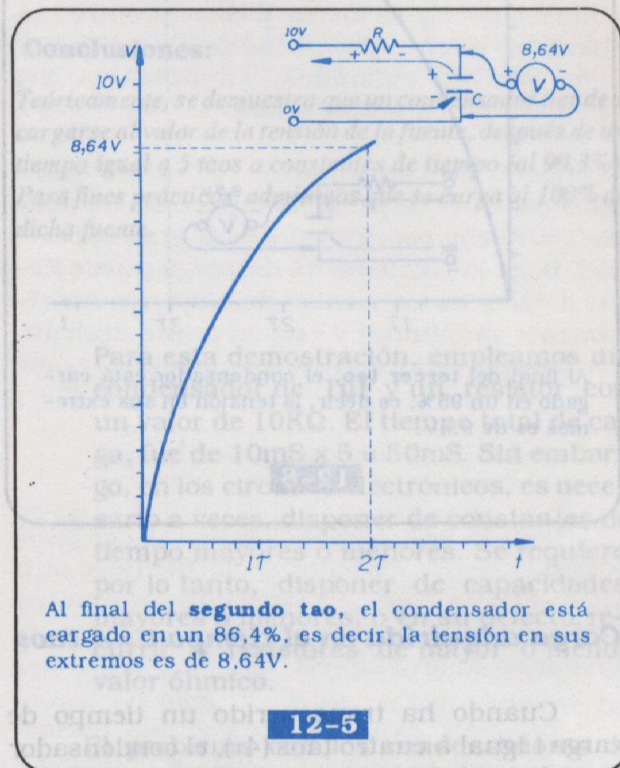
$$I = \frac{V}{R} = \frac{3,67V}{10K} = 367\mu A$$

Carga adquirida en el tiempo t = 2 taos

De nuevo, aquí recurrimos a la curva exponencial de la figura 12-3, proyectando el punto sobre el eje **X** que corresponde a 2 taos (2τ) hasta que intersecte la curva y luego este punto sobre la curva en forma perpendicular a **Y**. Allí, aparece el valor de 86,4% o de otro modo, ésto nos indica que el condensador se ha cargado al 86,4% del valor de la tensión de la fuente o 8,64V. Figura 12-5.

Con 8,64V de carga en el condensador, el resistor tendrá 1,36V y la corriente en el circuito ha descendido a un valor de:

$$I = \frac{V}{R} = \frac{1,36V}{10K} = 136\mu A$$



Al final del **segundo tao**, el condensador está cargado en un 86,4%, es decir, la tensión en sus extremos es de 8,64V.

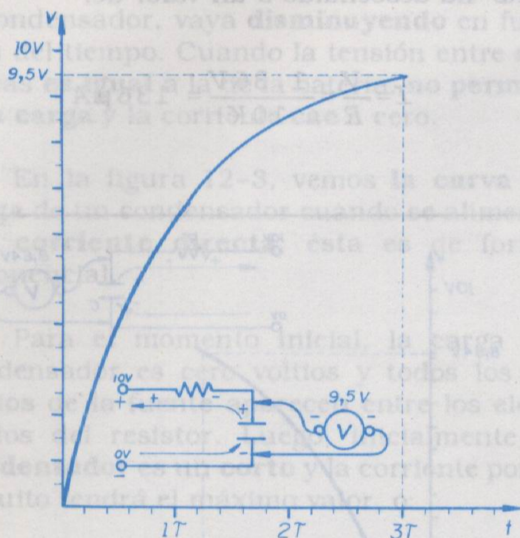
12-5

Carga adquirida en el tiempo t = 3 taos

Empleando los mismos procedimientos anteriores con la curva exponencial de la figura 12-3, hallamos que cuando ha transcurrido un tiempo t de carga igual a tres taos (3τ) o constantes de tiempo, el condensador ha adquirido el 95% de la tensión de la fuente o 9,5V. Ver figura 12-6.

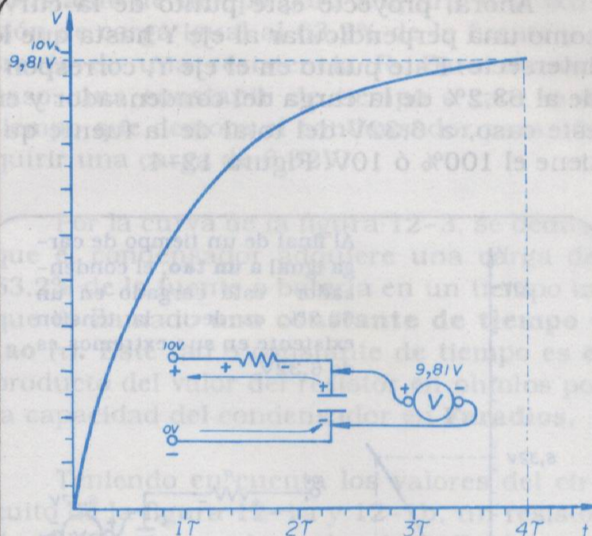
Para este momento de carga, por tener el condensador 9,5 voltios, al resistor solo le quedan 0,5V y por lo tanto la corriente sigue disminuyendo, siendo su valor ahora de:

$$I = \frac{V}{R} = \frac{0,5V}{10K} = 50\mu A$$



Al final del **tercer tao**, el condensador está cargado en un 95%, es decir, la tensión en sus extremos es de 9,5V.

12-6



Al final de **cuarto tao**, el condensador está cargado en un 98,1%, es decir, la tensión en sus extremos es de 9,81V.

12-7

Carga adquirida en el tiempo t = 4 taos

Cuando ha transcurrido un tiempo de carga t igual a cuatro taos (4τ), el condensador ha adquirido una carga del 98%, es decir, para nuestro caso tiene entre sus placas 9,8V y por lo tanto ya casi se encuentra cargado al valor de la tensión de la fuente. Figura 12-7.

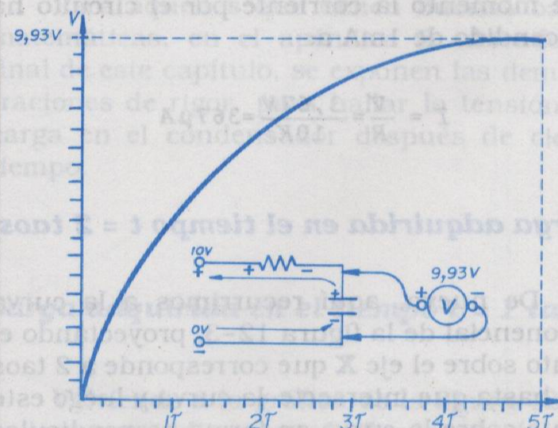
Después de cuatro taos, el condensador tiene 9,8 voltios y por lo tanto, al resistor solo le quedan 0,2V. Para este instante la corriente por el circuito es de:

$$I=\frac{V}{R}=\frac{0,2V}{10K}=20\mu A$$

Carga adquirida en el tiempo t = 5 taos

Finalmente, nos aproximamos ya a la carga total del condensador. Cuando ha transcurrido un tiempo de carga igual a cinco taos (5τ), la carga adquirida por éste, es del 99,3% o de otro modo, el condensador ha adquirido una tensión de 9,93V. Figura 12-8.

Para fines prácticos, se asume que un condensador al cabo de un tiempo **t** igual a 5 taos, está **plenamente cargado**, pues tiene el 99,3% del valor de la tensión de la fuente.



Transcurridos los **cinco taos**, el condensador está cargado en un 99,3%, o sea, que la tensión existente en sus extremos es de 9,93V.

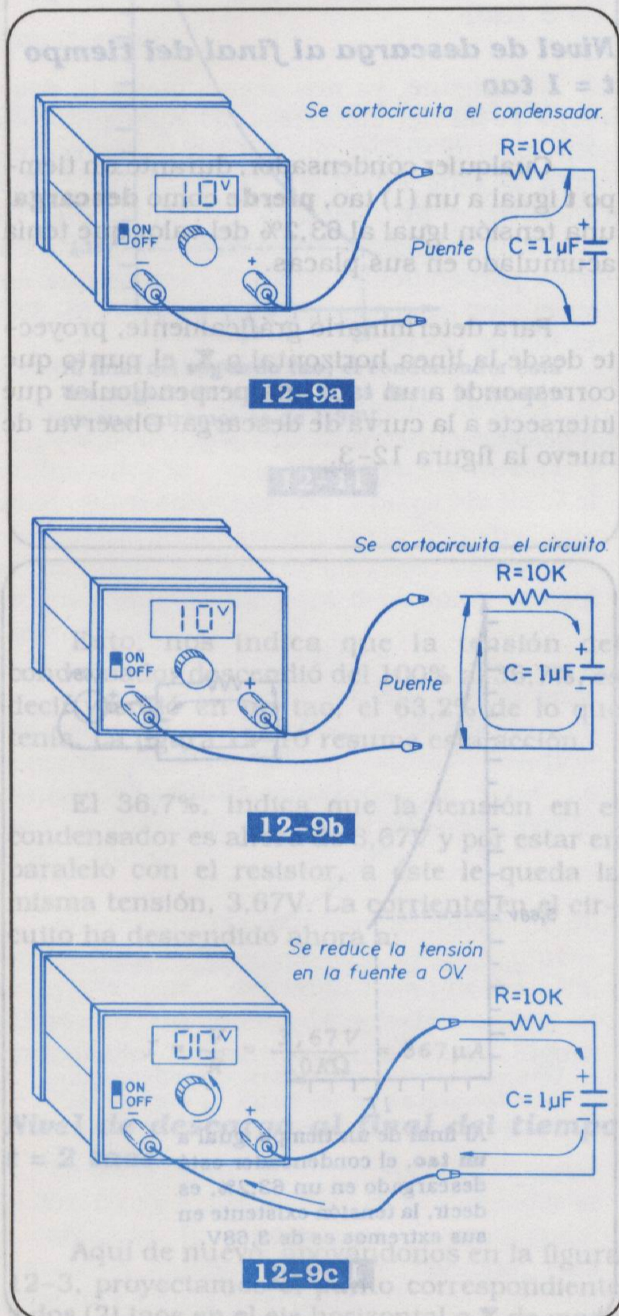
12-8

Para este momento, después de 5 taos, la tensión en el resistor es de:

$$10V - 9,93V = 0,07V.$$

Aplicando la ley de Ohm, comprobamos que la corriente de carga ha **descendido** a:

$$I = \frac{V}{R} = \frac{0,07\,V}{10\,K\Omega} = 7\,\mu A$$



Para este mismo instante, se dice que la corriente **es despreciable** y se acostumbra llamarla corriente de fuga. Para fines prácticos, se supone que el condensador está plenamente cargado y que la corriente por el circuito es cero (0 Amperios).

Conclusiones:

Teóricamente, se demuestra que un condensador tiende a cargarse al valor de la tensión de la fuente, después de un tiempo igual a 5 taos o constantes de tiempo (al 99,3%). Para fines prácticos, admitimos que se carga al 100% de dicha fuente.

Para esta demostración, empleamos un condensador de 1uF y un resistor con un valor de 10KΩ. El tiempo total de carga, fue de 10mS x 5 = 50mS. Sin embargo, en los circuitos electrónicos, es necesario a veces, disponer de constantes de tiempo mayores o menores. Se requiere por lo tanto, disponer de capacidades mayores o menores, o en su defecto, recurrir a resistores de mayor o menor valor óhmico.

El problema con los condensadores de mayor capacidad, es que deben ser electrolíticos y por lo tanto **tienden** a presentar una mayor corriente de fuga, que **tiende** también a incrementar artificialmente los tiempos de carga.

Para evitar lo anterior, se recurre a los condensadores de Tantalio, mucho más precisos, y con menos corriente de fuga. El problema, es que las capacidades en que vienen, suelen estar limitadas a valores muy pequeños. En este caso, se debe recurrir a resistores que tengan bastante valor óhmico, varios Megaohmios.

Descarga del condensador

Un condensador que tiene alguna carga entre sus placas o que se halla plenamente cargado, puede ahora **descargarse** de dos maneras:

a. Cortocircuitando sus placas.
b. Por medio de la constante de tiempo.

Cortocircuitando sus placas

Para este caso, basta con desconectar el condensador de la fuente y colocar entre sus placas un **puente** por medio de un conductor o un par de caimanes. La descarga del condensador **es instantánea.**

Este procedimiento es válido para condensadores de pequeña capacidad. **No debe** realizarse con condensadores de gran capacidad, pues la corriente de descarga puede llegar a valer varios cientos de amperios (teóricamente es infinita) y éste se puede destruir. Ver figura 12-9a.

Por medio de la constante de tiempo

Para la segunda opción, basta con desconectar el condensador de la fuente y unir los dos terminales que conectaban a ésta por medio de un puente conductor o un par de caimanes. Figura 12-9b.

También, existe como segunda opción, dejar el condensador conectado a la fuente y lentamente bajar la tensión de ésta a 0V. Este procedimiento, es equivalente al anterior, pues cuando la fuente tiene 0V representa un cortocircuito para el condensador. Ver figura 12-9c.

Para la segunda opción o la **b.**, que tiene dos procedimientos, la descarga del condensador tiene la misma constante de tiempo que para la acción de carga. Ver figuras 12-9b y 12-9c.

Esta es la opción normal. Para ello, se **descarga** el condensador a través de un resistor que limite la **corriente** de descarga a un valor razonable. La curva de descarga es idéntica a la de carga, pero invertida.

Al hacer el cortocircuito de los dos terminales de alimentación para el condensador o hacer la tensión de la fuente igual a cero (0V), el condensador queda ahora en paralelo con el resistor y se cambia la polaridad en éste. Ahora la corriente va a fluir en sentido contrario. Su valor es máximo y vuelve a ser de 1mA o:

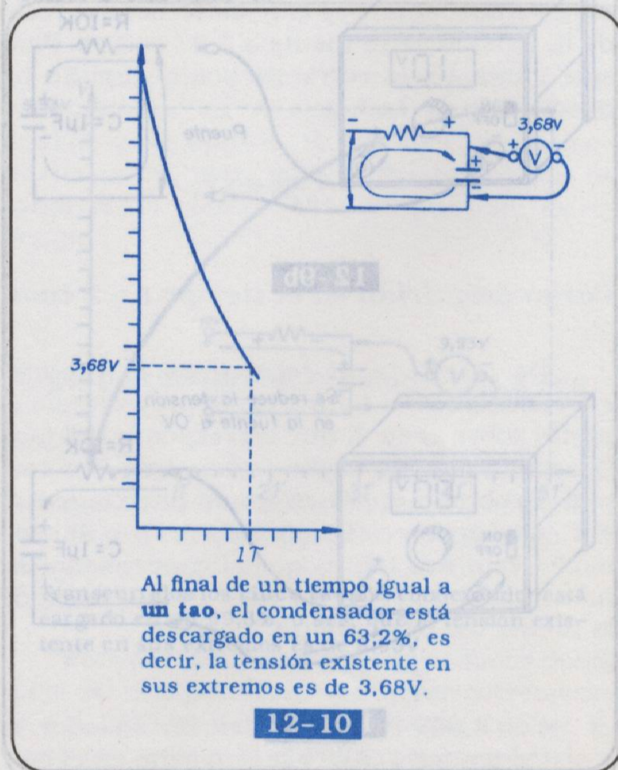
$$I = \frac{V}{R} = \frac{-10V}{10K\Omega} = -1mA$$

Este símbolo negativo de la corriente, simplemente nos indica que la corriente está fluyendo en sentido contrario.

Nivel de descarga al final del tiempo t = 1 tao

Cualquier condensador, durante un tiempo **t** igual a un (1) tao, **pierde** como **descarga**, una tensión igual al 63,2% del valor que tenía acumulado en sus placas.

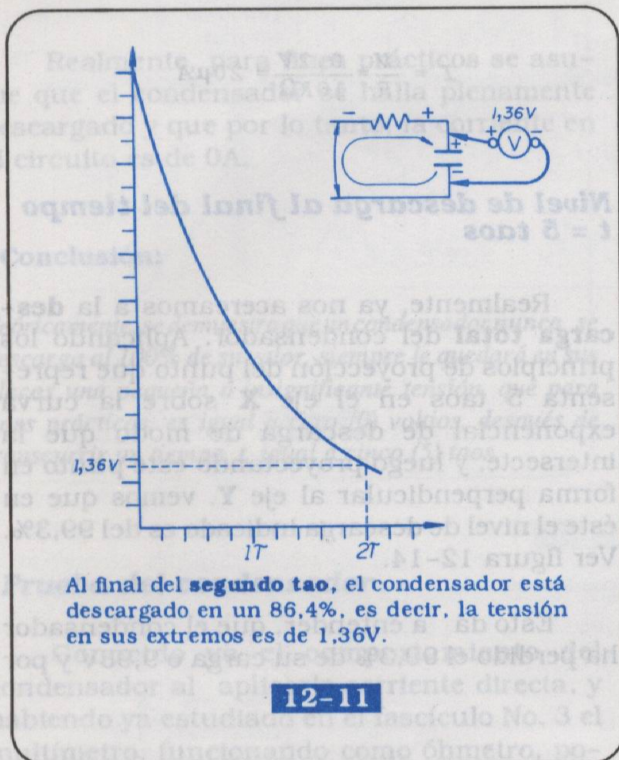
Para determinarlo gráficamente, proyecte desde la línea horizontal o **X,** el punto que corresponde a un tao, una perpendicular que intersecte a la curva de descarga. Observar de nuevo la figura 12-3.



Al final de un tiempo igual a **un tao**, el condensador está descargado en un 63,2%, es decir, la tensión existente en sus extremos es de 3,68V.

12-10

De igual modo, proyecte este punto de intersección sobre la curva de descarga, como una perpendicular al eje vertical o **Y**. Allí encontrará el punto correspondiente al 0,367%.



Al final del **segundo tao,** el condensador está descargado en un 86,4%, es decir, la tensión en sus extremos es de 1,36V.

12-11

Esto, nos indica que la tensión del condensador descendió del 100% al 36,7%, es decir, perdió en un tao, el 63,2% de lo que tenía. La figura 12-10 resume esta acción.

El 36,7%, indica que la tensión en el condensador es ahora de 3,67V y por estar en paralelo con el resistor, a éste le queda la misma tensión, 3,67V. La corriente en el circuito ha descendido ahora a:

$$I = \frac{V}{R} = \frac{3,67V}{10K\Omega} = 367\mu A$$

Nivel de descarga al final del tiempo t = 2 taos

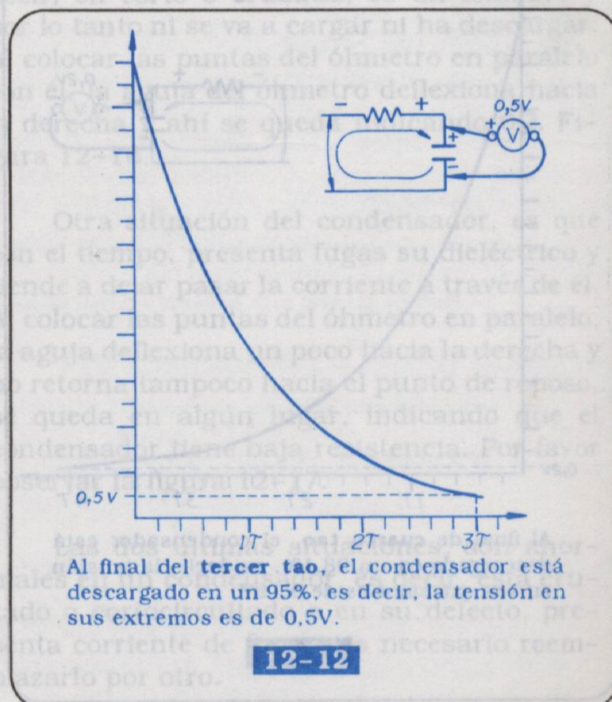
Aquí de nuevo, apoyándonos en la figura 12-3, proyectamos el punto correspondiente a dos (2) taos en el eje horizontal o **X** de modo que intersecte la curva exponencial de descarga y de ésta proyectamos una perpendicular al eje **Y**. Este punto en el eje **Y**, corresponde a un nivel de descarga del 86,4%. La figura 12-11, resume esto.

Lo anterior nos indica, que el condensador ha perdido 8,64V y solo queda con 1,36 voltios o el 13,6% de la tensión de la fuente. Así pues, el resistor tiene en sus extremos 1,36V y por lo tanto, la corriente en el circuito descendió a un valor de:

$$I = \frac{V}{R} = \frac{1,36V}{10K\Omega} = 136\mu A$$

Nivel de descarga al final del tiempo t = 3 taos

Siguiendo adelante, proyectamos de nuevo en la figura 12-3, el punto en el eje **X** que corresponde a tres (3) taos, de modo que intersecte a la curva exponencial de descarga. Este punto en la curva exponencial, lo proyectamos en forma perpendicular al eje **Y** y allí hallamos, que el nivel de descarga es ahora del 95%. Es decir, el condensador ha



Al final del **tercer tao,** el condensador está descargado en un 95%, es decir, la tensión en sus extremos es de 0,5V.

12-12

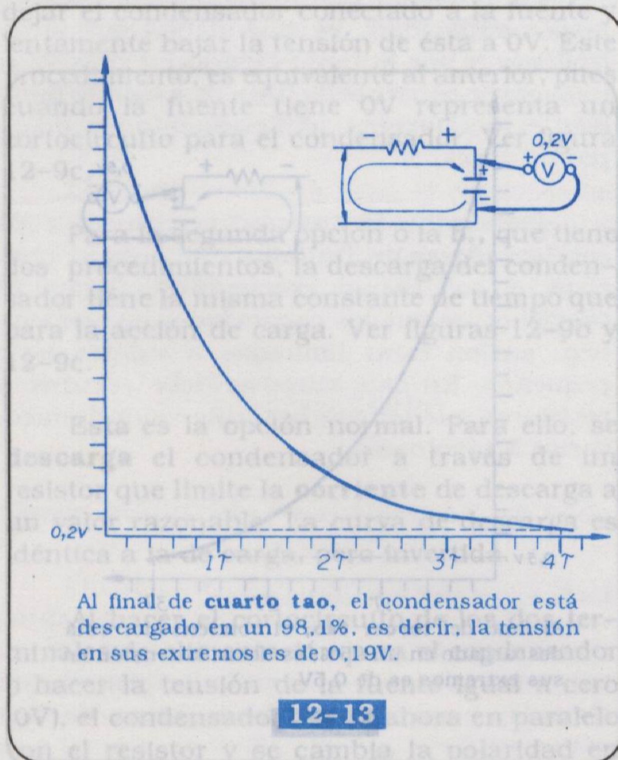
perdido el 95% de su tensión de carga o 9,5V y por lo tanto, solo le quedan 0,5V. Ver la figura resumen 12–12.

Al final de este tiempo, la tensión en el resistor es la misma que la del condensador por estar ambos en paralelo y por lo tanto, la corriente en el circuito ha descendido a:

$$I = \frac{V}{R} = \frac{0,5V}{10K\Omega} = 50\mu A$$

Nivel de descarga al final del tiempo t = 4 taos

Al final de este tiempo, proyectando el punto sobre el eje **X**, figura 12–3, que corresponde a cuatro (4) taos de modo que intersecte a la curva exponencial de descarga y éste a su vez en forma perpendicular al eje **Y**, vemos que el valor de descarga indicado allí, es del 98%, es decir, el condensador ha perdido el 98% o 9,8V y por lo tanto le quedan 0,2V. Por favor observe la figura 12–13.



Al final de **cuarto tao**, el condensador está descargado en un 98,1%, es decir, la tensión en sus extremos es de 0,19V.

12–13

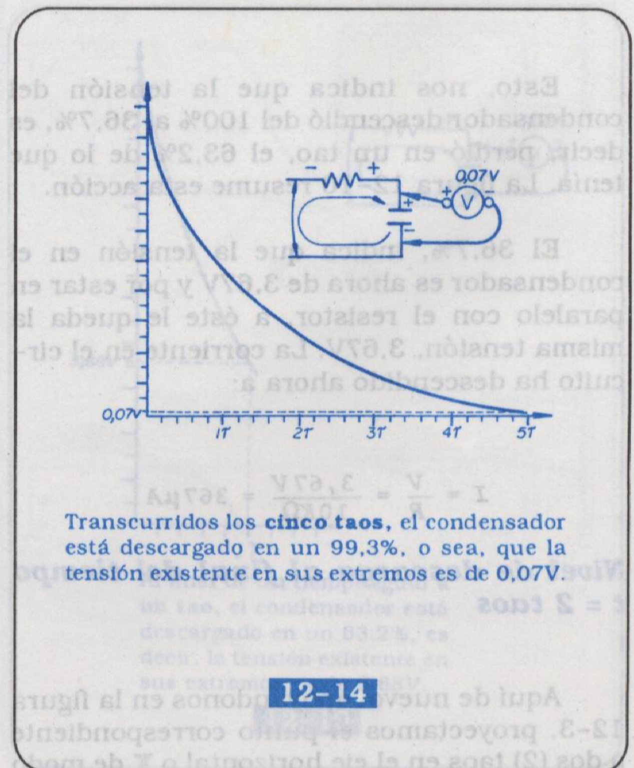
Para este momento, y por estar en paralelo con el condensador, al resistor le quedan 0,2V y por lo tanto, la corriente en el circuito ha descendido a:

$$I = \frac{V}{R} = \frac{0,2V}{10K\Omega} = 20\mu A$$

Nivel de descarga al final del tiempo t = 5 taos

Realmente, ya nos acercamos a la **descarga total** del condensador. Aplicando los principios de proyección del punto que representa 5 taos en el eje **X** sobre la curva exponencial de descarga de modo que la intersecte, y luego proyectando este punto en forma perpendicular al eje **Y**, vemos que en éste el nivel de descarga indicado es del 99,3%. Ver figura 12–14.

Esto da a entender, que el condensador ha perdido el 99,3% de su carga o 9,93V y por



Transcurridos los **cinco taos**, el condensador está descargado en un 99,3%, o sea, que la tensión existente en sus extremos es de 0,07V.

12–14

lo tanto solo le quedan 0,07V. Como el resistor está en paralelo con éste, la corriente a través del circuito ha descendido a:

$$I = \frac{V}{R} = \frac{0,07\,V}{10\,K} = 7\,\mu A$$

Realmente, para fines prácticos se asume que el condensador se halla plenamente descargado y que por lo tanto, la corriente en el circuito es de 0A.

Conclusión:

Teóricamente, se demuestra que un condensador nunca se descarga al 100% de su valor, siempre le quedará en sus placas una pequeña o insignificante tensión, que para fines prácticos, es igual a cero (0) voltios, después de transcurrir un tiempo, t, igual a cinco (5) taos.

Prueba del condensador

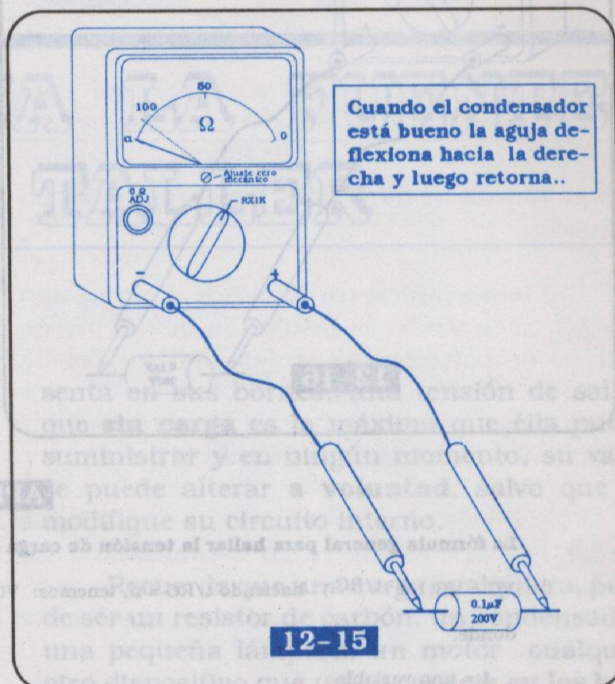
Conocido ya el comportamiento del condensador al aplicarle corriente directa, y habiendo ya estudiado en el fascículo No. 3 el multímetro, funcionando como óhmetro, podemos ahora fácilmente entender como probar un condensador para determinar si está bueno o malo.

El óhmetro, por el estudio que hicimos sobre él, sabemos que tiene incorporada una fuente de corriente directa, varias pilas primarias de 1,5V y conectadas en serie. Lo usual es disponer de dos (2) pilas que suministran 3VDC.

Al colocar las puntas del óhmetro en paralelo con un condensador, la aguja muestra una pequeña deflexión hacia la derecha, indicando un paso de corriente por el condensador mientras éste se carga. Figura 12-15.

Esta corriente de carga pasa por el metro del óhmetro y a medida que el condensador se va cargando, la corriente va disminuyendo. Cuando el condensador esté cargado, esta corriente es nula o cero (0A).

Luego, **si el condensador está bueno**, al colocar las puntas del óhmetro en paralelo con el condensador, la aguja del metro deflexiona rápidamente hacia la derecha y retorna de nuevo a su punto de reposo. Por favor observar la figura 12-15.

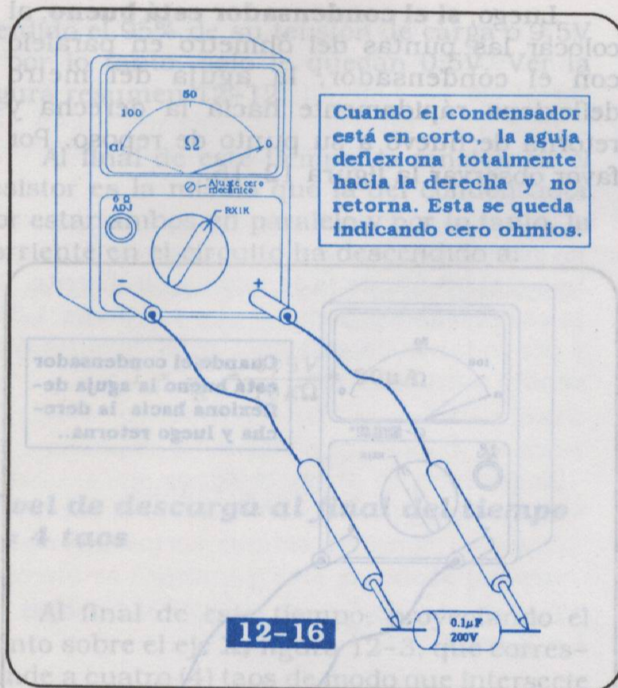


12-15

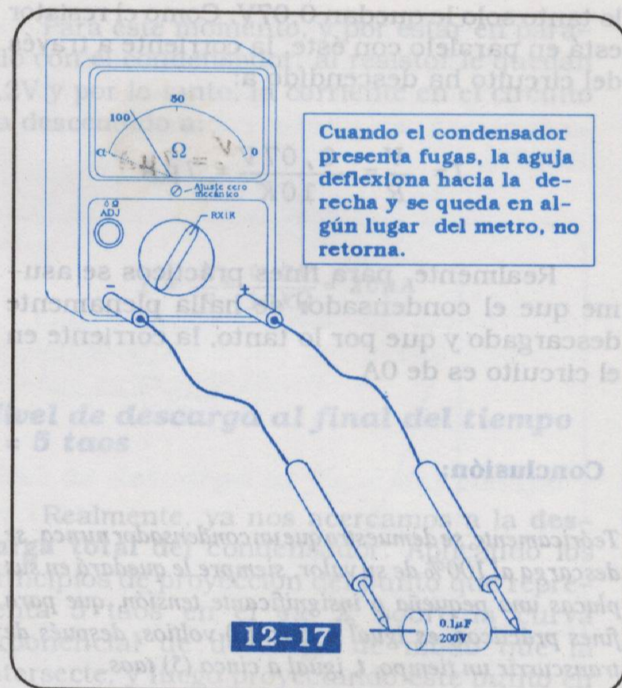
Cuando el condensador está malo, es decir, en corto o **cruzado**, es un alambre y por lo tanto ni se va a cargar ni ha descargar. Al colocar las puntas del óhmetro en paralelo con él, la aguja del óhmetro deflexiona hacia la derecha y ahí se queda indicando 0Ω. Figura 12-16.

Otra situación del condensador, es que con el tiempo, presenta fugas su dieléctrico y tiende a dejar pasar la corriente a través de él. Al colocar las puntas del óhmetro en paralelo, la aguja deflexiona un poco hacia la derecha y no retorna tampoco hacia el punto de reposo, se queda en algún lugar, indicando que el condensador tiene baja resistencia. Por favor observar la figura 12-17.

Las dos últimas situaciones, son anormales en un condensador, es decir, está cruzado o cortocircuitado o en su defecto, presenta corriente de fuga y es necesario reemplazarlo por otro.



12-16



12-17

APENDICE B

La fórmula general para hallar la tensión de carga en un condensador es:

$VC = VB(1 - e^{-t/RC})$ haciendo $t/RC = n$, tenemos: $VC = VB(1 - e^{-n})$ ó $VC = VB(1 - \frac{1}{e^{n}})$

t	RC	n
50mS	50mS	1
100mS	50mS	2
150mS	50mS	3
200mS	50mS	4
250mS	50mS	5

donde:

t = una variable
R.C = constante de tiempo, para este caso definida por el producto de R x C = 50mS

Reemplazando términos, tenemos:

Para t = 1 tao => $VC = 10V(1 - \frac{1}{e^{1}}) = VC = 10V(1 - \frac{1}{2,7182}) = 10V(1 - 0,367) = 10V(0,632) = 6,32V$

Para t = 2 taos => $VC = 10V(1 - \frac{1}{e^{2}}) = VC = 10V(1 - \frac{1}{7,389}) = 10V(1 - 0,1359) = 10V(0,864) = 8,64V$

Para t = 3 taos => $VC = 10V(1 - \frac{1}{e^{3}}) = VC = 10V(1 - \frac{1}{20,085}) = 10V(1 - 0,497) = 10V(0,95) = 9,5V$

Para t = 4 taos => $VC = 10V(1 - \frac{1}{e^{4}}) = VC = 10V(1 - \frac{1}{54,598}) = 10V(1 - 0,0183) = 10V(0,981) = 9,81V$

Para t = 5 taos => $VC = 10V(1 - \frac{1}{e^{5}}) = VC = 10V(1 - \frac{1}{148,39}) = 10V(1 - 0,00673) = 10V(0,993) = 9,93V$

La fórmula general para hallar la tensión de descarga de un condensador es:

$VD = VB(e^{-t/RC})$ haciendo $t/RC = n$, tenemos: $VD = VB(e^{-n})$ ó $VD = VB(\frac{1}{e^{n}})$

Reemplazando términos, tenemos:

Para t = 1 tao => $VC = 10V(\frac{1}{e^{1}}) = VC = 10V(\frac{1}{2,7182}) = 10V(0,367) = 3,67V$

Para t = 2 taos => $VC = 10V(\frac{1}{e^{2}}) = VC = 10V(\frac{1}{7,389}) = 10V(0,1353) = 1,353V$

Para t = 3 taos => $VC = 10V(\frac{1}{e^{3}}) = VC = 10V(\frac{1}{20,085}) = 10V(0,0497) = 0.497V$

Para t = 4 taos => $VC = 10V(\frac{1}{e^{4}}) = VC = 10V(\frac{1}{54,598}) = 10V(0,0183) = 0,183V$

Para t = 5 taos => $VC = 10V(\frac{1}{e^{5}}) = VC = 10V(\frac{1}{148,39}) = 10V(0,00673) = 0,0673V$

13 CONSTRUYA LA FUENTE PARA SU TALLER

Cumpliendo con el propósito del presente curso de Electrónica General de elevar su nivel técnico en electrónica, capacitándole teórica y prácticamente, en este capitulo trataremos la construcción de una fuente sencilla y económica, que le servirá para realizar sus experiencias en el taller, empleando una mínima inversión en dinero y tiempo.

Actualmente, se han generalizado dos tipos de fuentes de alimentación, a saber:

a. Fuentes no reguladas.
b. Fuentes reguladas.

El concepto de **fuente no regulada**, se refiere a cualquiera de éstas que suministren en sus bornes de salida, una tensión DC a partir de **un rectificador** y una etapa de filtrado, sin ningún otro tipo de refinamiento.

Una fuente como la anterior, adolece a grandes rasgos de dos grandes inconvenientes:

El primero de ellos es que cuando se le coloca una carga, la tensión de salida o Vo, **se cae** o **decrece** en forma directamente proporcional a la corriente que pida dicha carga. Por el contrario, cuando la corriente de carga es mínima o ésta no existe, la tensión de salida o Vo, **se incrementa**.

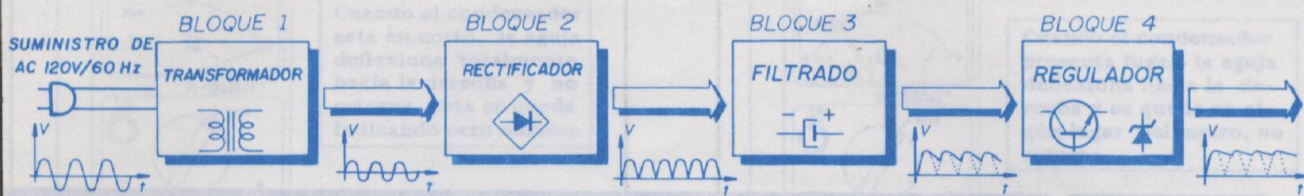
El otro inconveniente, quizás el más notorio, es que una fuente **no regulada**, presenta en sus bornes, una tensión de salida que **sin carga** es la máxima que èlla puede suministrar y en ningún momento, su valor se puede alterar **a voluntad**, salvo que se modifique su circuito interno.

Recuerde que una carga cualquiera, puede ser un resistor de carbón, un condensador, una pequeña lámpara, un motor cualquier otro dispositivo que usted conecte en los bornes de la fuente. Esta carga, suele ser llamada **RL** y se representa en forma generalizada como un resistor.

El caso de la fuente sin regulación, es muy parecido a un fenómeno que ocurre en nuestro hogar. Si observa de noche el brillo de las bombillas, notará que tienen cierta intensidad luminosa. Tan pronto prendemos la estufa eléctrica, el brillo de las bombillas decrece. Cuando se apaga la estufa, el brillo de éstas se incrementa. Cuál es la explicación?.

La razón es muy sencilla. Al **encender** la estufa (ésta es una carga o RL), la tensión de la red **se cae**. Al caerse la tensión de la red, la corriente por las bombillas **decrece**, lo mismo que el brillo de las mismas.

Al **apagar** la estufa u otras bombillas de la casa, la tensión **se incrementa** y el brillo de las que están encendidas, también se incrementa por mayor paso de corriente a través de sus filamentos. Esta fuente de **AC**, la



13-1

de la red de 120VAC, **no está regulada** en tensión.

Si conectamos un televisor a una toma de AC, al encender la estufa, su mayor incremento de corriente tiene también incidencia en el televisor, disminuyéndole el brillo por ejemplo, o en su defecto, éste puede presentar un cuadro de **imagen reducido**.

La solución para evitar esta molestia, es recurrir a la compra de un **estabilizador de tensión.** Este eliminará los mencionados problemas, ya que un estabilizador, es **una fuente regulada de AC.**

La fuente regulada de DC que vamos a describir, garantiza que la tensión por ella suministrada sea lo más estable posible. Es decir, que su valor no varíe, así se incremente o no la corriente de carga o **IL**.

Cualquier fuente de alimentación regulada, tiene la configuración en bloques, de la figura 13-1.

El bloque Nº1 y que no puede faltar, es el suministro de AC o tensión de corriente alterna suministrada por la red, de 120Vrms. Como nuestra fuente es de baja tensión, se hace necesario entonces emplear un transformador que reduzca la tensión de entrada, de 120 a unos 24V.

El bloque Nº2, está conformado por un puente rectificador, elaborado con base a 4 diodos de silicio. Su misión es la de convertir la corriente alterna de la red, en corriente directa o de otro modo, hacer que los semiperíodos de corriente alterna, aparezcan a la salida del rectificador, siempre sobre el mismo nivel de 0V o positivos.

Estos semiperíodos positivos, están variando 120 veces por segundo, entre 0 y un valor máximo. Esta variación de la tensión, es un componente de AC que es necesario eliminar. Para ello existe el bloque Nº3, que es un filtro que tiende a eliminar estas variaciones de tensión.

El filtro, se basa en un condensador de gran capacidad, tipo electrolítico. Este condensador se carga con cada uno de los 120 semiperíodos, a su valor de pico. Cuando la tensión de este pico tiende a caer, nuestro condensador se descarga a través de la RL y evita que la tensión de salida caiga a cero voltios.

De hecho, la tensión de salida o VDC, se mantiene a un valor promedio. Si no existiese carga, el condensador se carga al valor de pico y no tendría por donde descargarse. En este caso, la tensión de salida no tendría ninguna variación o fluctuación.

El bloque Nº4, es el **elemento regulador** de la fuente. Para nuestro caso, es un chip o circuito integrado, que tiene en su interior varios transistores, un diodo zener y varios resistores. Es el encargado de mantener constante el nivel de la tensión de salida, indiferente que haya **más o menos** corriente de carga.

Se puede comparar su funcionamiento, al de un resistor ajustable que está en serie con la carga o RL. Así, cuando la corriente demandada por la carga se incremente y la tensión de salida tienda a caer, el resistor ajustable (el regulador), entonces disminuye

su valor óhmico y permite que una mayor tensión de entrada procedente del rectificador, pase hacia la carga.

Si por el contrario, la corriente **demandada** por la carga disminuye y la tensión de salida tiende a **incrementarse**, el resistor ajustable (el regulador), incrementa su valor óhmico y ahora permite que pase del rectificador una **menor tensión**, hacia la carga.

Descripción del circuito

El circuito de la fuente de alimentación regulada en tensión, aparece en la figura 13-2. El esquema pictográfico de montaje, mostrando la ubicación y cableado de los componentes, aparece en la figura 13-3.

El transformador reductor para la fuente, T1, se puede mandar a bobinar con un primario para 120V y un devanado secundario para 24V a una corriente de 1A.

Sin embargo, se puede optar por una solución más económica, tal como adquirir en el comercio uno ya elaborado, de la marca LASER o MAPAR y de referencia T509.

La desventaja de esta última versión de transformador, es que solo suministra 18VAC y como máximo, una corriente de unos 400mA. Sin embargo, para algunas prácticas de laboratorio, es apenas suficiente.

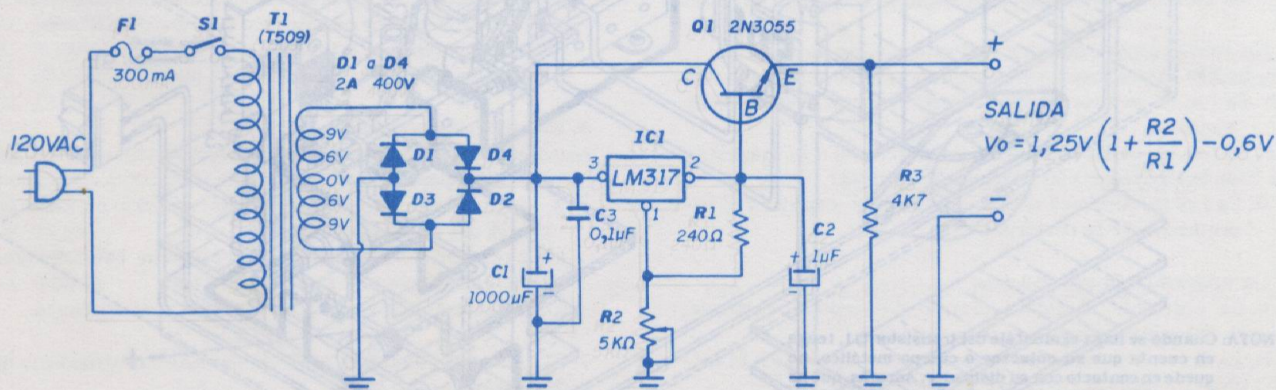
Mandándole a bobinar, podemos obtener una tensión de salida regulada, cuyo valor esté entre 0 y unos 30VDC a 1A. Con la segunda versión más económica, la tensión de salida regulada puede estar entre 0 y 24V a unos 500mA como máximo. Así pues, usted escogerá el que le sea más práctico para sus propósitos.

El puente rectificador, está conformado por los 4 diodos numerados de D1 a D4. Deben ser de 2A a 200V de tensión inversa. La acción de filtrado, la realiza C1, que tiene un valor de 1000μF y debe soportar una tensión DC de 35V, como mínimo.

El Regulador

El alma de la fuente, es el chip o circuito integrado de referencia LM317 producido por la compañía National o similares. Trae la forma TO-220 y tiene por lo tanto, tres (3) terminales de conexión, que lo hace muy parecido a un transistor de mediana potencia.

El regulador, el LM317, dispone de tres (3) terminales. Visto el regulador por su parte frontal, es decir, por donde trae la referencia y el logotipo del fabricante, su terminal Nº1, es el primero del lado izquierdo y tiene como función, facilitar el ajuste de la tensión de salida entre 0 y 30VDC (entre 0 y 24VDC) por medio de R2, un resistor ajustable de 5KΩ.



El terminal Nº2 de este regulador, el cual está ubicado en el centro, es el terminal de salida. El terminal Nº3, el último de izquierda a derecha, es el terminal de entrada, donde se aplica la tensión DC suministrada por el puente rectificador.

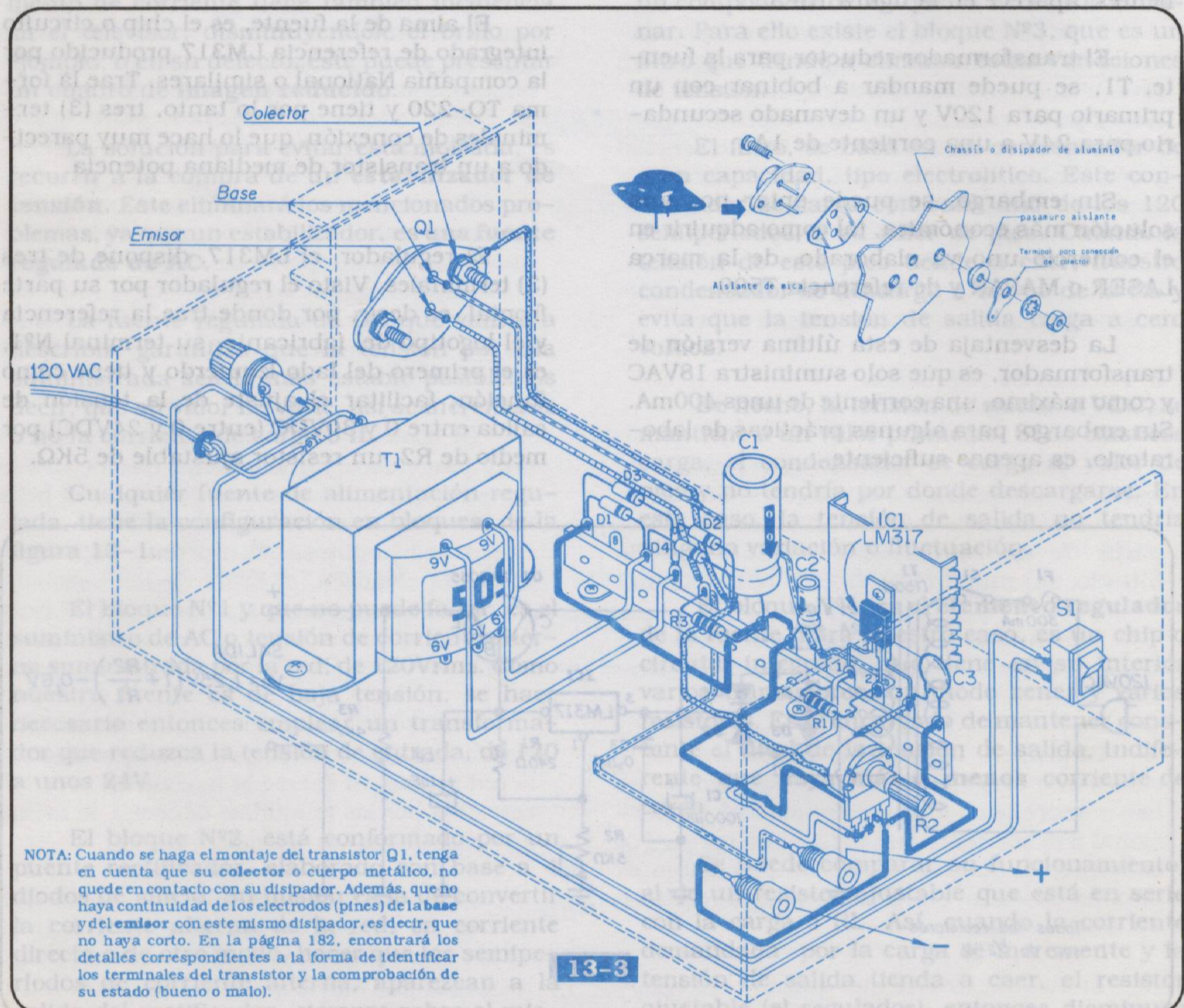
Ajuste del nivel de salida

Para ajustar el nivel de salida del regulador, se colocan en su terminal de ajuste, el Nº1, dos resistores, R1 y R2. R1 es de valor fijo y R2 es de valor ajustable, de 5KΩ. Variando el nivel de R2, se puede variar a voluntad la tensión de salida y obtener un valor cualquiera que esté entre 0 y 30V.

Disipación de potencia del regulador

El LM317, está capacitado para disipar 15W a 14V entre sus terminales de entrada y de salida, 2 y 3. La tensión mínima que puede suministrar, es de 1,25V y la máxima de 40V. Sin embargo, este último valor, depende de la tensión DC suministrada por la fuente a la salida del rectificador.

En nuestro diseño, si el transformador se manda a bobinar, el puente rectificador debe estar en capacidad de entregar unos 35VDC. Si escogemos el MAPAR o el LASER, el rectificador no suministra más allá de 26VDC. Supóngase que optamos por el primer transformador.



NOTA: Cuando se haga el montaje del transistor Q1, tenga en cuenta que su **colector** o cuerpo metálico, no quede en contacto con su disipador. Además, que no haya continuidad de los electrodos (pines) de la **base** y del **emisor** con este mismo disipador, es decir, que no haya corto. En la página 182, encontrará los detalles correspondientes a la forma de identificar los terminales del transistor y la comprobación de su estado (bueno o malo).

Cuando la tensión de salida en el regulador sea de 1,25 voltios, la tensión entre los terminales 2 y 3, es de:

$$35 - 1{,}25 = 33{,}75V$$

La máxima corriente que permite el regulador para disipar los 15W y no destruirse, es de:

$$I = \frac{15}{33{,}75} = 444mA$$

Cuando la tensión de salida en el regulador sea la máxima, unos 30V, la tensión que éste soporta entre los terminales 2 y 3, es:

$$35 - 30 = 5V$$

La corriente máxima que puede circular por la carga sin que se destruya dicho regulador y disipe los 15W, será de:

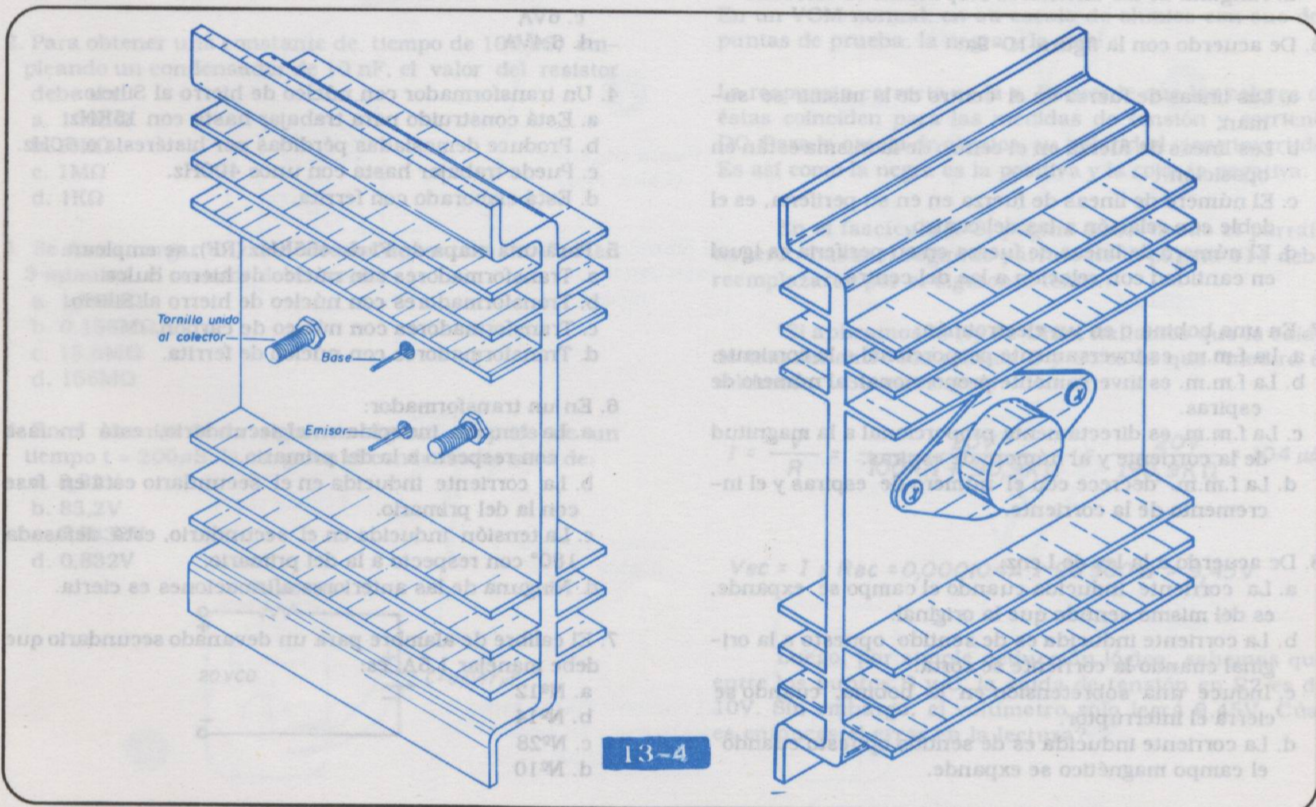
$$I = \frac{15W}{5V} = 3A$$

Los datos anteriores, nos demuestran que la corriente entregada por el regulador, depende de la tensión de salida que éste suministre en su terminal de salida. Así pues, lo más recomendable sería el trabajar la fuente con una corriente máxima de unos 400mA. Sin embargo, nosotros queremos utilizarla con una capacidad de 1A, indiferente de la tensión de salida que el regulador suministre.

La solución más práctica, es recurrir al empleo de un transistor de potencia, tal como el 2N3055 o similar. Veamos entonces la utilización de éste en la fuente regulada.

El terminal de salida del regulador (el Nº2), lo conectamos a la base del transistor 2N3055 (Q1) en la figura 13–2. El colector de este transistor, lo conectamos al terminal de entrada del regulador, el Nº1 del LM317, y finalmente, el emisor del transistor, será el terminal de salida de nuestra fuente regulada.

El transistor de potencia, Q1, debe ir montado sobre un disipador de calor tal como se indica en la figura 13–4. Este disipador es de fácil adquisición en los almacenes del ramo electrónico, o en los distribuidores de productos de aluminio (en estos últimos el costo es inferior).



13–4

AUTOEVALUACION (10)

1. El polo sur geográfico:
   a. Coincide con el polo sur magnético de la tierra.
   b. Atrae el polo norte de un imán.
   c. Coincide con el polo norte magnético.
   d. Atrae el polo norte de la brújula.

2. Las líneas de fuerza magnéticas de la tierra:
   a. Circulan internamente por ella de norte a sur.
   b. Circulan internamente por ella de sur a norte.
   c. No tienen ninguna dirección en su movimiento.
   d. Ninguna de las anteriores afirmaciones es cierta.

3. Si un imán es fraccionado:
   a. Las subdivisiones de éste pierden las propiedades magnéticas.
   b. Las moléculas cambian de orientación.
   c. Cada fracción del imán conserva las propiedades magnéticas de éste.
   d. Ninguna de las afirmaciones anteriores es cierta.

4. El núcleo de hierro dulce, dentro de una bobina:
   a. Se puede magnetizar en forma permanente.
   b. Se puede magnetizar en forma temporal.
   c. Puede actuar como un imán artificial.
   d. Ninguna de las anteriores afirmaciones es cierta.

5. De acuerdo a la teoría electrónica:
   a. Si la corriente viene hacia nosotros, las líneas de fuerza giran en sentido horario.
   b. Si la corriente se aleja de nosotros, las líneas de fuerza giran en sentido horario.
   c. Si la corriente se aleja de nosotros, el tirabuzón debe girar penetrando en sentido horario.
   d. Ninguna de las anteriores respuestas es correcta.

6. De acuerdo con la figura 10-9a:
   a. Las líneas de fuerza en el centro de la misma se suman.
   b. Las líneas de fuerza en el centro de la misma están en oposición.
   c. El número de líneas de fuerza en en su periferia, es el doble con relación a las del centro.
   d. El número de líneas de fuerza en su periferia es igual en cantidad con relación a las del centro.

7. En una bobina o en un electroimán:
   a. La f.m.m. es inversamente proporcional a la corriente.
   b. La f.m.m. es inversamente proporcional al número de espiras.
   c. La f.m.m. es directamente proporcional a la magnitud de la corriente y al número de espiras.
   d. La f.m.m. decrece con el número de espiras y el incremento de la corriente.

8. De acuerdo a la ley de Lenz:
   a. La corriente inducida cuando el campo se expande, es del mismo sentido que la original.
   b. La corriente inducida es de sentido opuesto a la original cuando la corriente se corta.
   c. Induce una sobretensión en la bobina, cuando se cierra el interruptor.
   d. La corriente inducida es de sentido opuesto cuando el campo magnético se expande.

9. De acuerdo al concepto básico sobre las bobinas, la inductancia:
   a. Se incrementa con el número de espiras
   b. Disminuye colocando un núcleo de hierro.
   c. Es inversamente porporcional al número de espiras.
   d. Se expresa en mA

10. De acuerdo al concepto sobre las bobinas:
   a. El aire con relación al hierro presenta mayor permeabilidad.
   b. La reluctancia del hierro es mayor que la del aire.
   c. El hierro dulce presenta mayor permeabilidad que el aire.
   d. Ninguna de lás anteriores afirmaciones es cierta.

AUTOEVALUACION (11)

1. Si al primario de un transformador, le aplicamos CD, después de unos segundos:
   a. Puedo medir CA en el secundario.
   b. El campo magnético está expandiendose.
   c. El campo magnético está estable.
   d. Existirá inducción entre el primario y el secundario.

2. Si el número de espiras en un transformador es para N1 = 360 y para N2 = 120. Aplicando 120 VAC al primario:
   a. Se pueden inducir 120V en el secundario.
   b. Se pueden inducir 40V en el secundario.
   c. Se pueden inducir 240V en el primario.
   d. El transformador es tipo elevador.

3. Si un transformador tiene un área de 9,6cm², la potencia en VA que puede suministrar, es de:
   a. 81VA
   b. 100VA
   c. 6VA
   d. 6,4VA

4. Un transformador con núcleo de hierro al Silicio:
   a. Está construido para trabajar hasta con 15KHz.
   b. Produce demasiadas pérdidas por histéresis a 60Hz.
   c. Puede trabajar hasta con unos 400Hz.
   d. Está elaborado con ferrita.

5. Para una etapa de FI de 455KHz (RF), se emplean:
   a. Transformadores con núcleo de hierro dulce.
   b. Transformadores con núcleo de hierro al Silicio.
   c. Transformadores con núcleo de carbón.
   d. Transformadores con núcleo de ferrita.

6. En un transformador:
   a. La tensión inducida en el secundario, está en fase con respecto a la del primario.
   b. La corriente inducida en el secundario está en fase con la del primario.
   c. La tensión inducida en el secundario, está defasada 180° con respecto a la del primario.
   d. Ninguna de las anteriores afirmaciones es cierta.

7. El calibre de alambre para un devanado secundario que debe manejar 1,5A, es:
   a. Nº12
   b. Nº14
   c. Nº28
   d. Nº10

8. Las espiras por voltio para un transformador que tiene 9cm² de área o sección transversal, son:
   a. 42
   b. 41,6
   c. 4,16
   d. 416

9. Un determinado núcleo de hierro tiene una intensidad magnética (β) de 8000 líneas de fuerza por cm². De acuerdo a la fórmula general empleada en la página 159, para calcular las espiras por voltio, ahora:
   a. El número de espiras por voltio disminuye.
   b. El número de espiras por voltio se incrementa.
   c. La densidad magnética (ϕ) de acuerdo al apéndice **B** disminuye.
   d. Ninguna de las anteriores afirmaciones es cierta.

10. Si tuviese en cuenta el grueso de la capa de óxido que contienen las chapas del núcleo de Silicio:
   a. Emplearía un núcleo de menor área o sección transversal.
   b. Emplearía un núcleo de mayor área o sección transversal.
   c. La potencia entregada por el transformador es mayor que la calculada.
   d. Ninguna de las afirmaciones anteriores es cierta.

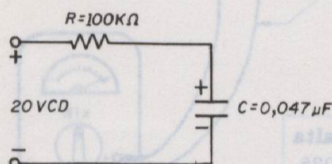
AUTOEVALUACION (12)

1. Si desea obtener en un circuito R.C., una constante de tiempo (τ) igual a 1 segundo, empleando para ello un resistor de 1MΩ, el valor de la capacidad es de:
   a. 1nF
   b. 1PF
   c. 1μF
   d. 1FD

2. Para obtener una constante de tiempo de 100 μS, empleando un condensador de 10 nF, el valor del resistor debe ser:
   a. 100KΩ
   b. 10KΩ
   c. 1MΩ
   d. 1KΩ

3. Se desea cargar un condensador de tantalio de 47μF en 3 minutos, el resistor debe ser de:
   a. 1,56MΩ
   b. 0,156MΩ
   c. 15,6MΩ
   d. 156MΩ

4. En el circuito de la siguiente figura, después de un tiempo t = 200μS, la carga en el condensador será de:
   a. 8,32V
   b. 83,2V
   c. 0,0832V
   d. 0,832V



5. Para el mismo circuito anterior, la tensión medida en el resistor, después de un tiempo t = 2000mS, será:
   a. 1,38V
   b. 15V
   c. 13,08V
   d. 0V

RESPUESTAS A LAS AUTOEVALUACIONES DEL FASCICULO Nº3

CAPITULO 8. Continuación

15. **d** 16. **a** 17. **c** 18. **c** 19. **c** 20. **d.**

CAPITULO 9. 1. **a** 2. **c** 3. **b** 4. **c** 5. **b** 6. **c** 7. **c** 8. **d** 9. **c** 10. **d** 11. **d** (Debe leer 1200) 12. **b** 13. **a** 14. Figura C-6b 15. **c.**

FE DE ERRATAS

– La forma correcta de la pregunta Nº11 del capítulo 9, es la siguiente:

En un óhmetro, al medir un resistor de 120KΩ y en la escala de R x 100, la aguja debe indicar:
a. 120
b. 12
c. 1,2
d. 1200

La respuesta correcta es **d**, para que 1200 multiplicado por 100 de 120.000Ω o 120KΩ.

– La pregunta Nº13 de este mismo capítulo, debe leerse así:

En un VOM normal, en su escala de ohmios con sus dos puntas de prueba, la negra y la roja:

La respuesta correcta es la **a**. Recuerde que los colores de éstas coinciden para las medidas de tensión y corriente DC. Para la escala de ohmios, su polaridad viene invertida. Es así como la negra es la positiva y la roja, la negativa.

En el fascículo Nº3, página 110, desde el párrafo tercero, hasta el segundo párrafo de la página 111 debe reemplazarse por el siguiente texto.

"Si aplicamos la ley de Ohm, hallamos que la caída de tensión entre los puntos B y C, es la que "medirá el voltímetro". Su valor será:

$$I = \frac{V}{R} = \frac{20V}{100K\Omega + 90,9K\Omega} = \frac{20V}{190,9K\Omega} = 104\ \mu A$$

$$V_{BC} = I \times R_{BC} = 0,000104A \times 90.900\Omega = 9,45V$$

Luego, por simple deducción lógica, sabemos que entre los puntos B y C, la caída de tensión en R2 es de 10V. Sin embargo, el voltímetro solo leerá 9,45V. Cúal es entonces el error en la lectura?

Si decimos que 10V son iguales al 100%, entonces, 9,45V equivalen al 94,5%, ó:

$$\text{Lectura en porcentaje: } \frac{9{,}45V \times 100\%}{10V} = 94{,}5\%$$

Luego, el error que introduce el instrumento es de:

$$100\% - 94{,}5\% = 5{,}5\%.$$

Si aplicamos el mismo procedimiento para medir estos 10V con un voltímetro cuya sensibilidad es de 10.000Ω/V, mucho menor que la del primer ejemplo (la mitad), hallamos que éste leerá 8,66V. Para este caso, el error será de:

$$100\% - 86{,}6\% = 13{,}4\%$$

Luego, qué es mejor emplear? un voltímetro de mayor o menor sensibilidad. La respuesta es obvia, como se puede ver la medida es más precisa entre mayor sea la sensibilidad del instrumento.

COMO PROBAR UN TRANSISTOR DE POTENCIA

Paso Nº 1

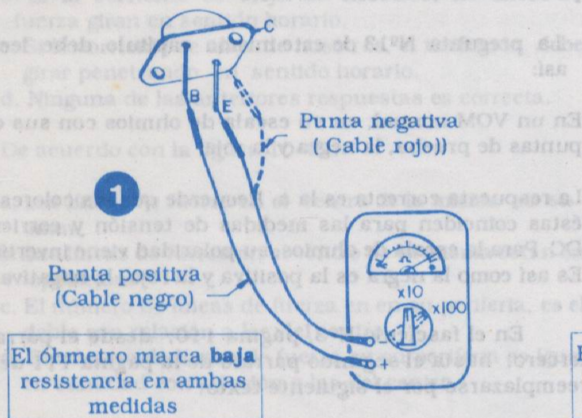
Un transistor de potencia, en este caso el 2N3055, se prueba como un transistor común y corriente. Para ello debe marcar **baja resistencia** en las posiciones **base-emisor** y **base-colector**, colocando la punta **positiva** siempre en la base. Se requiere que el óhmetro esté en la escala de **R x 10** ó **R x 100**. Observar la figura 1. de la parte inferior.

Paso Nº 2

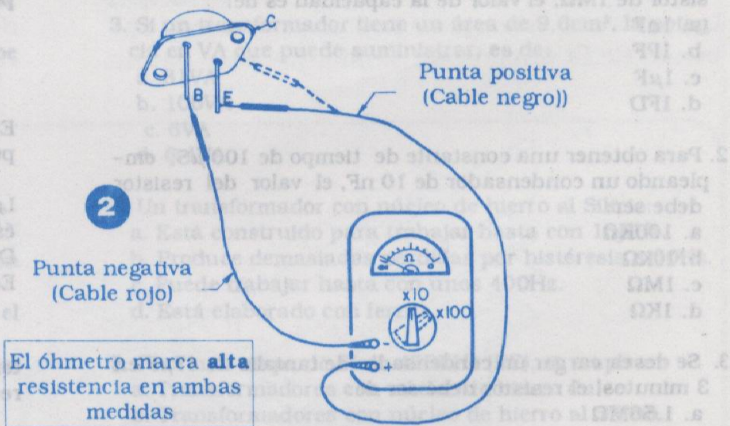
Llevar el instrumento a la posición, **R x 1K**. Invertir las puntas, es decir, colocar la punta **negativa** en la base, y alternar la **positiva**, entre el colector y el emisor. El instrumento debe marcar **altísima resistencia** (infinita). Ver la figura 2.

Paso Nº 3

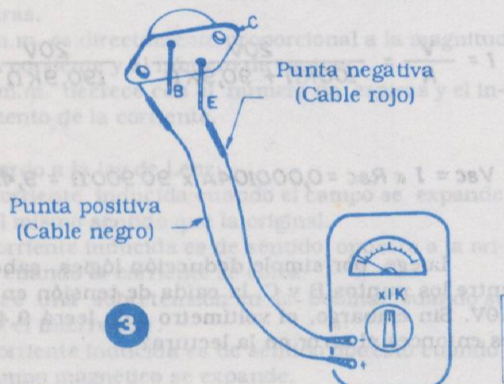
Ya elaboradas las anteriores pruebas, proceda a hacer la medición de **fugas** (el daño más frecuente es por la presencia de fugas). Para lo anterior, coloque cualquier punta del instrumento en el emisor, y la otra, en el colector. Luego, invierta la posición de las puntas. En ambas medidas el óhmetro debe indicar **altísima resistencia**, si no es así, el transistor **está malo**. Observar las figuras **3** y **4**.



El óhmetro marca **baja** resistencia en ambas medidas



El óhmetro marca **alta** resistencia en ambas medidas



El óhmetro marca **alta** resistencia en ambas medidas

